

**Die elektroencephalographische Differenzierung
psychiatrischer Krankheitsgruppen**

**Ein methodischer Beitrag zur Anwendung
der Frequenz-Integrationsprofilanalyse**

von
August Hillemacher
aus Rheydt

Aus der Nervenklinik mit Poliklinik der
Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Prof. Dr. H. H. Wieck

Die elektroencephalographische Differenzierung
psychiatrischer Krankheitsgruppen:

Ein methodischer Beitrag zur Anwendung
der Frequenz-Integrationsprofilanalyse.

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Friedrich-Alexander-Universität

Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von

August Hillemacher

aus Rheydt



Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg

Dekan: Prof. Dr. E. Wetterer

Referent: Priv.Doiz.Dr.D.Bente

Tag der mündlichen Prüfung: 8.4.1968

Einleitung zum Problem der ...
I. Einleitung

1. Einleitung	1
2. Meinen Eltern gewidmet	2
3. Einleitung zum ...	3
4. Einleitung zum ...	4
5. Einleitung zum ...	5
6. Einleitung zum ...	6
7. Einleitung zum ...	7
8. Einleitung zum ...	8
9. Einleitung zum ...	9
10. Einleitung zum ...	10
11. Einleitung zum ...	11
12. Einleitung zum ...	12
13. Einleitung zum ...	13
14. Einleitung zum ...	14
15. Einleitung zum ...	15
16. Einleitung zum ...	16
17. Einleitung zum ...	17
18. Einleitung zum ...	18
19. Einleitung zum ...	19
20. Einleitung zum ...	20
21. Einleitung zum ...	21
22. Einleitung zum ...	22
23. Einleitung zum ...	23
24. Einleitung zum ...	24
25. Einleitung zum ...	25
26. Einleitung zum ...	26
27. Einleitung zum ...	27
28. Einleitung zum ...	28
29. Einleitung zum ...	29
30. Einleitung zum ...	30
31. Einleitung zum ...	31
32. Einleitung zum ...	32
33. Einleitung zum ...	33
34. Einleitung zum ...	34
35. Einleitung zum ...	35
36. Einleitung zum ...	36
37. Einleitung zum ...	37
38. Einleitung zum ...	38
39. Einleitung zum ...	39
40. Einleitung zum ...	40
41. Einleitung zum ...	41
42. Einleitung zum ...	42
43. Einleitung zum ...	43
44. Einleitung zum ...	44
45. Einleitung zum ...	45
46. Einleitung zum ...	46
47. Einleitung zum ...	47
48. Einleitung zum ...	48
49. Einleitung zum ...	49
50. Einleitung zum ...	50
51. Einleitung zum ...	51
52. Einleitung zum ...	52
53. Einleitung zum ...	53
54. Einleitung zum ...	54
55. Einleitung zum ...	55
56. Einleitung zum ...	56
57. Einleitung zum ...	57
58. Einleitung zum ...	58
59. Einleitung zum ...	59
60. Einleitung zum ...	60
61. Einleitung zum ...	61
62. Einleitung zum ...	62
63. Einleitung zum ...	63
64. Einleitung zum ...	64
65. Einleitung zum ...	65
66. Einleitung zum ...	66
67. Einleitung zum ...	67
68. Einleitung zum ...	68
69. Einleitung zum ...	69
70. Einleitung zum ...	70
71. Einleitung zum ...	71
72. Einleitung zum ...	72
73. Einleitung zum ...	73
74. Einleitung zum ...	74
75. Einleitung zum ...	75
76. Einleitung zum ...	76
77. Einleitung zum ...	77
78. Einleitung zum ...	78
79. Einleitung zum ...	79
80. Einleitung zum ...	80
81. Einleitung zum ...	81
82. Einleitung zum ...	82
83. Einleitung zum ...	83
84. Einleitung zum ...	84
85. Einleitung zum ...	85
86. Einleitung zum ...	86
87. Einleitung zum ...	87
88. Einleitung zum ...	88
89. Einleitung zum ...	89
90. Einleitung zum ...	90
91. Einleitung zum ...	91
92. Einleitung zum ...	92
93. Einleitung zum ...	93
94. Einleitung zum ...	94
95. Einleitung zum ...	95
96. Einleitung zum ...	96
97. Einleitung zum ...	97
98. Einleitung zum ...	98
99. Einleitung zum ...	99
100. Einleitung zum ...	100

Methodischer Teil: Probleme der Datenerfassung
und -Verarbeitung

1. Grundsätzliche Ansprüche, die an eine quantitative EEG-Analyse als diagnostisches Instrument zu stellen sind	6
2. Zum Aufbau quantitativer Analyseverfahren	13
3. Möglichkeiten der Deduktion von Kennwerten	18
4. Prüfung des Verfahrens und der Variablen auf die Erfüllung der Wertkriterien	21
5. Analyse der Variablenstruktur und Methoden der Variablenselektion	24
6. Möglichkeiten verschiedener Untersuchungsarten	25
7. Statistische Auswertekonzepte	27
7.1 Vorbemerkungen	
7.2 Statistische Auswerteverfahren und ihre Anwendung in der elektronischen Datenverarbeitung	
7.2.1 Parametrische Verfahren	
7.2.2 Nichtparametrische Verfahren	
8. Prüfung von quantitativen Ergebnissen auf die Erfüllung der Wertkriterien	37
9. Schlußbemerkungen	38
<u>Darstellung eines Beispiels: Die Differenzierung psychiatrischer Krankheitsgruppen</u>	
10. Problem und Versuchsplan	40
11. Gewinnung der Ausgangsdaten und Deduktion weiterer Kennwerte	42
12. Aufstellung der Gruppen	44
13. Prüfung der Variablen auf die Erfüllung der Wertkriterien	48
14. Variablenselektion	51
15. Analyse der Variablenstruktur	53
16. Anwendung statistischer Verfahren zur Differenzierung der Gruppen	61
16.1 Feststellung quantitativer Gruppenunterschiede	
16.2 Prüfung der Gruppenunterschiede auf Signifikanz	
16.3 Nichtparametrische Verfahren	
16.4 Parametrische Verfahren	
16.4.1 Faktorenanalyse	
16.4.2 Diskriminanzanalyse	

17. Prüfung der Ergebnisse auf die Erfüllung der Wertkriterien	Seite 75
18. Interpretation und Kritik des Beispiels	78
19. Schlußbemerkungen	81
<u>Zusammenfassung</u>	83
<u>Tabellen</u>	87
<u>Abbildungen</u>	105
<u>Schrifttum</u>	113

Einleitung

In dem Maße, in dem psychophysiologische und -pharmakologische Fragen im Laufe der vergangenen Jahre Eingang in die Neuropsychiatrie gefunden haben, ist auch das Interesse an einer quantitativen Erfassung und Verarbeitung elektroencephalographischer Daten unter Ausnutzung der jetzt zur Verfügung stehenden meß- und rechentechnischen Möglichkeiten gewachsen. Als bisher einziges routinemäßig anwendbares Untersuchungsverfahren gestattet die Elektroencephalographie einen direkten und kontinuierlichen Einblick in die bioelektrische Aktivität zentralnervöser, vor allem kortikaler Funktionssubstrate. Die zeitliche und topische Organisation der hirnelektrischen Aktivität, deren Generatorprozesse zwar im einzelnen noch nicht endgültig geklärt, aber wahrscheinlich im Bereich der langsamen postsynaptischen und Dendritenpotentiale zu suchen sind (CASPER), steht physiologischerweise in engen Beziehungen zu wichtigen Dimensionen des organismischen Gesamtverhaltens beispielsweise der Wach-Schlaf- und Vigilanzregulierung (BENTE). Unter pathologischen Bedingungen kann sie in verschiedener Weise und unterschiedlichem Ausmaß gestört werden, worauf der klinisch-diagnostische Wert der Elektroencephalographie beruht (KUGLER).

Während die traditionelle visuell-morphologische Auswertung für viele Fragen der klinischen EEG-Diagnostik ausreichend ist, vor allem wenn es um die Erkennung und Feststellung ausgeprägter pathologischer Funktionsänderungen geht, wie sie bei diffusen oder umschriebenen Hirnprozessen, Stoffwechselstörungen, Vergiftungen und cerebralen

Anfallsleiden vorkommen, versagt sie, wenn eine feinere Aufgliederung und quantitative Präzisierung hirnelektrischer Funktionsverschiebungen gefordert wird. Dies ist aber beispielsweise bei neuropsychiatrischen Verlaufsuntersuchungen, im Rahmen neuropharmakologischer Fragestellungen oder in der psychopatho- und psychophysiologischen Korrelationsforschung der Fall ist.

Gerade in diesen Bereichen ist von einer mit dem heute verfügbaren mathematisch statistischen Verfahren arbeitenden quantitativen EEG-Analyse ein erheblicher Erkenntnisgewinn zu erwarten, da solche Methoden in einem bisher kaum abzuschätzenden Umfang eine differenzierte Untersuchung der in der bioelektrischen Spontanaktivität sich abzeichnenden zentralnervösen Funktionsdynamik und ihrer Beziehung zu anderen biologischen und psychologischen Variablen gestattet. Derartige Studien werden vermutlich schon in nächster Zukunft erheblich an Interesse und Bedeutung gewinnen und dazu führen, daß auch komplexe Strukturen psychophysiologischer Art aufgedeckt und auf ihre Relevanz in verschiedenen physiologischen und pathologischen Bedingungskonstellationen untersucht werden können. Die technischen Voraussetzungen hierfür liegen in der durch die Einführung der Digitalrechner möglich gewordenen Handhabung umfangreicher Datenmengen, die methodologischen in der Entwicklung und dem Ausbau multivariater Analysenkonzepte (ANDERSON, RAO), die eine statistische Untersuchung auch sehr merkmalsreicher Datenkonfigurationen gestatten.

In dieser Perspektive ist auch die vorliegende Studie zu sehen. Sie beinhaltet den Versuch, einige Möglichkeiten quantitativer Auswerteverfahren auf dem Gebiete der EEG-Analyse hinsichtlich ihrer logischen Begründbarkeit, Aussagekraft und diagnostischen Anwendbarkeit darzustellen. Thematisch steht dabei ein Aspekt im Vordergrund, nämlich die Frage, ob und inwieweit psychiatrisch-diagnostische Gruppen, die mit der visuell-morphologischen Auswertung in ihrem hirnelektrischen Verhalten kaum zu unterscheiden sind, sich anhand quantitativer EEG-Daten und ihrer statistischen Verarbeitung zuverlässig differenzieren lassen. Im ersten Teil dieser Studie soll zunächst die Methodik der Datenerfassung und -verarbeitung erörtert und dann im zweiten Teil an einen konkreten Beispiel vorgeführt werden. Wir hoffen, daß damit sowohl das methodische Grundgerüst als auch der heuristische Wert derartiger Auswerteverfahren zumindest in seinen Umrissen aufgezeigt und verdeutlicht werden kann.

M e t h o d i s c h e r T e i l :

P r o b l e m e d e r D a t e n e r f a s s u n g
u n d - V e r a r b e i t u n g

1. Grundsätzliche Ansprüche, die an eine quantitative EEG-Analyse als diagnostisches Instrument zu stellen sind

Von jedem Untersuchungsverfahren, dem diagnostische Relevanz und das Prädikat "quantitativ" zugesprochen werden soll, ist die weitmögliche Erfüllung folgender Kriterien zu fordern: (LIENERT 1967, S.12)

- | | |
|-----------------|---------------------|
| 1. Objektivität | 4. Normierung |
| 2. Reliabilität | 5. Vergleichbarkeit |
| 3. Validität | 6. Ökonomie |
| | 7. Nützlichkeit |

Die explizite Darstellung, inwieweit ein diagnostisches Hilfsmittel diesen Forderungen genügt, ist z.B. in der psychologischen Diagnostik fast zur Selbstverständlichkeit geworden, in der Medizin jedoch noch keineswegs.

Von der traditionellen visuell-morphologischen EEG-Auswertung wird der erste Punkt (Objektivität) schon in sehr unzureichendem Maße erfüllt, worunter notwendigerweise auch Reliabilität und Validität leiden. (Über die gegenseitige Abhängigkeit der Wertkriterien siehe LIENERT 1967, S. 20).

Ein EEG-Analyseverfahren, das obigen Forderungen genügen soll, muß demnach

- 1) objektiv sein, d.h. einen möglichst hohen Grad der Unabhängigkeit von den Untersuchungs Umständen und der Person des Untersuchers aufweisen. Mit anderen Worten besagt dies,

daß sowohl a) die Durchführung, wie b) die Auswertung, als auch c) die Interpretation objektiv sein sollen.

2) reliabel sein, d.h. einen hohen Grad der Übereinstimmung von unter gleichen Bedingungen reproduzierten Ergebnissen der Merkmalsmessung zeigen. Das Verfahren muß demnach Meßwerte liefern, die der Anforderung genügen "innerhalb ein und derselben Person einigermaßen stabil zu bleiben und bei wiederholter Beobachtung unter gleichen Bedingungen die Bestimmung eines für die betreffende Person spezifischen Kennwertes zu gestatten." (GUTTMANN S. 394)

3) valide sein, d.h. zutreffend für das zu messende Merkmal sein und einen möglichst hohen Grad der Vollständigkeit der Merkmalsmessung aufweisen

4) normiert sein, d.h. es muß anhand der Ergebnisse die Bestimmung der relativen Position eines Individuums innerhalb der betrachteten repräsentativen Gesamtstichprobe quantitativmöglich sein. Diese Einordnung individueller Ergebnisse kann über verschiedene Arten von Normskaliierungen geschehen. (Vgl. dazu MICHEL, S.28 und LIENERT 1967, S. 314 f)

5) in seinen Ergebnissen vergleichbar sein, d.h. die durch dieses Verfahren gefundenen Ergebnisse müssen mit auf anderen Wegen gefundenen Resultaten vergleichbar sein

6) ökonomisch sein, d.h. einen möglichst geringen Durchführungsaufwand benötigen

7) nützlich sein, d.h. es muß einen durch andere Verfahren nicht im gleichen Maße einfach, sicher und vollständig zugänglichen Bereich der Merkmalsmessung erfassen.

1) Die erste Forderung wird optimal erfüllt, wenn das Verfahren von der Ableitung des EEGs über die Auswertung bis zur Formulierung der Ergebnisse und deren Interpretation ohne Zwischenschaltung eines Begutachters und unter maximal konstanten Bedingungen durchgeführt werden könnte. D.h. es erfolgen nur standardisierte technische und statistische Operationen, welche Ergebnisse liefern, die auf diskreten Wahrscheinlichkeitsstufen mit Standardwerten vergleichbar sind.

2) Grundsätzlich ist es wünschenswert, die Reliabilität der mit dem Verfahren erfaßten Merkmale an einer repräsentativen Stichprobe zu kontrollieren. Als Verfahren zur Reliabilitätsprüfung (vgl. LIENERT 1967, S.208 f) kommen in Frage:

a) die "Re-Test"-Methode zur Messung der "Stabilität" des Untersuchungsverfahrens, wobei die Bedingungs- und Merkmalsinkonstanz sowie Wiederholungseinflüsse mit in die numerische Höhe des Koeffizienten eingehen.

b) die "Split-half"-Methode zur Messung der "Konsistenz" des Untersuchungsverfahrens, wobei die drei unter a) erwähnten Einflüsse wegfallen und nur die "instrumentelle Reidentität", die Leistungsfähigkeit des Verfahrens als Meßinstrument erfaßt wird.

c) Die "Parallel-Test"-Methode soll hier unberücksichtigt bleiben.

Allein aus der Gegenüberstellung dieser beiden Verfahren der Reliabilitätsbestimmung ist ersichtlich, daß es die Reliabilität ebenso wie die Validität einer Untersuchungsmethode nicht gibt, sondern immer nur einen bestimmten Reliabilitätsaspekt hinsichtlich einer Reihe von Gesichtspunkten wie Merkmalskonstanz, Konsistenz usw. und in Bezug auf einen bestimmten, fest umrissenen Anwendungsbereich.

Um einen möglichst umfassenden Aspekt der Reliabilität zu prüfen, sind mehrere Kontrollen mit verschiedenen Reliabilitätsmeßmethoden an verschiedenen Gruppen notwendig.

Im allgemeinen ist von leistungsfähigen diagnostischen Verfahren in der Psychologie eine "Re-Test"-Reliabilität von ca. 0.8 - 0.9 als wünschenswert zu fordern. Merkmalsmessungen im Bereich der Physiologie ergeben jedoch meist wesentlich geringere Koeffizienten (vgl. FAHRENBERG S.102), sodaß auch in Bezug auf EEG-Variablen eine Reliabilität von 0.6 als ausreichend gelten dürfte. GUILFORD (1946, zitiert nach MICHEL, S.48) weist darauf hin, daß die Reliabilitätshöhe nicht Selbstzweck sein kann, sondern nur insoweit Bedeutung hat, als sie zur Validität des Verfahrens beiträgt. Wegen der "partiellen Inkompatibilität" (LIENERT 1967, S. 214) von Reliabilität und Validität ist das isolierte Streben nach maximaler Reliabilität oft mit einer Minderung der Validität verbunden.

3) An Methoden der Überprüfung der Validität eines Verfahrens (Validierungsmethoden) wären hinsichtlich des hier vorliegenden Problems einer quantitativen EEG-Diagnostik zu unterscheiden:

a) die kriterienbezogene "klassische" Korrelationsvalidität im Sinne einer Übereinstimmungs- bzw. auch einer prognostischen Validität, mit anderen Worten: Berechnung des Korrelationskoeffizienten zwischen EEG-Analyse-Ergebnissen und gleichzeitigen bzw. zukünftigen Ergebnissen anderweitiger Verfahren, die vorgeben, das gleiche Merkmal zu messen und denen von vorneherein eine höhere Bedeutsamkeit zugeschrie-

ben wird.

b) die "Konstruktvalidität": Psychische "Konstrukte", wie z.B. Angst, sind keiner direkten Messung zugänglich. Sie können nur aus der Messung von Verhaltensweisen oder unter Berücksichtigung des physiologischen Aspekts aus der Messung somatischer Merkmale bzw. deren Veränderungen erschlossen werden. Als Konstrukte im obigen Sinne sind auch psychiatrische Termini wie "psychotisch", "schizophren" usw. aufzufassen. Die Untersuchung der Validität physiologischer Meßverfahren zur Erfassung solcher Konstrukte geschieht durch die sog. "Konstruktvalidierung".

Wege dazu sind:

- 1) Korrelation der Ergebnisse verschiedener Untersuchungsverfahren mit ähnlichem bzw. alternativem Validitätsanspruch (convergent bzw. discriminant validity)
- 2) faktorenanalytische Untersuchungen verschiedener Verfahren ähnlichen bzw. alternativen Validitätsanspruchs auf gemeinsame Dimensionen, die das Konstrukt repräsentieren könnten.
- 3) Analyse und Interpretation von interindividuellen und Gruppenunterschieden bei Anwendung eines Verfahrens hinsichtlich des zu untersuchenden Konstrukts.
- 4) Analyse und Interpretation von intraindividuellen bzw. gruppeninternen Veränderungen bei Längsschnittuntersuchungen hinsichtlich des Ausprägungsgrades des Konstrukts.

Mit Hilfe dieser Methoden ist man in der Lage, in Form eines "Prozesses der sukzessiven Approximation" (HÖRMANN 1961 zitiert nach MICHEL S.57) festzustellen, was das Untersuchungsverfahren wirklich mißt und kann so das Konstrukt durch Kombination und Veränderung von Untersuchungsverfahren zunehmend eindeutiger erfassen.

4) Zur Normierung des Verfahrens müßte man für eine bestimmte Fragestellung, beispielsweise "Wie ist die Verteilung der EEG-Parameter bei Schizophrenen?", eine reprä-

sentative Stichprobe aufstellen und deren Ergebnisse bei der EEG-Analyse in Normskalen ausdrücken. Auf diesem Wege wäre die Position eines schizophrenen Probanden innerhalb der Vergleichspopulation hinsichtlich eines oder mehrerer Parameter quantitativ bestimmbar.

5) Dieses Kriterium läßt sich in einen technischen und einen inhaltlichen Aspekt gliedern:

a) Um Ergebnisse vergleichen zu können, die mit verschiedenen EEG-Analyse-Systemen bzw. Verfahren gewonnen wurden, ist die Überprüfung der technischen Details, z.B. der Filtereigenschaften des Analysators, unerläßlich. Die Kommensurabilität der jeweils angewandten meßtechnischen Verfahren bietet erst die Voraussetzung für

b) die Vergleichbarkeit von Ergebnissen, die mit verschiedenen Analyse-Systemen gewonnen wurden. Hierbei ist die genaue Überprüfung der Terminologie, der Versuchsplanung, -durchführung und -interpretation für jeden Vergleich unerläßlich.

Sowohl hinsichtlich meßtechnischer Details als auch in Bezug auf die Terminologie und Einzelheiten der experimentellen Planung werden meist noch zu wenige und zu wenig exakte Angaben gemacht, sodaß eine sinnvolle Einordnung einschlägiger Ergebnisse erschwert oder unmöglich ist.

6) Besonderer Wert ist auf die Ökonomie des Auswerteverfahrens zu legen, da nur dann eine solche Methode Aussicht auf praktische Anwendung hat. Höchstmögliche Ökonomie kann erreicht werden durch völlige Automatisierung des Auswertungsprozesses, was außerdem, wie bereits erwähnt, die Objektivität optimallisiert.

7) Auf die Nützlichkeit und den besonderen Aufgabebereich der quantitativen EEG-Analyse wurde, soweit a priori Aussagen möglich sind, bereits in der Einleitung hingewiesen.

In den folgenden Kapiteln sollen nun das technische Analyse-Verfahren, die Deduktion von Kennwerten, die statistischen Auswertemethoden und deren Anwendung mit elektronischen Datenverarbeitungsanlagen geschildert werden, wobei jeweils die Erfüllung der hier angegebenen Wertkriterien geprüft werden wird.

2. Zum Aufbau quantitativer Analyse-Verfahren

Jeder Aufbau eines quantitativen ELG-Analyse-Verfahrens erfordert eine Reihe technologischer und logisch-mathematischer Überlegungen und Entscheidungen. Erstere betreffen das Problem der Meßobjektivität, Informationsausschöpfung und Ökonomie, letztere die Wahl eines angemessenen Modells, das über den Aussagegehalt der erhaltenen Informationen entscheidet. Im Prinzip sollte die logisch-mathematische Konzeption die Form des technischen Verfahrens bestimmen. Praktisch ist dies jedoch heute nicht immer der Fall, wobei natürlich auch wirtschaftliche Faktoren eine Rolle spielen. Grundsätzlich steht nach dem heutigen Stand der Technik außer Zweifel, daß der Analog-Digitalwandlung des ELGs unter Durchführung aller weiteren Analyse-Schritte im Großrechner der Vorzug vor allen analogen Meßverfahren zu geben ist, da nur so eine komplette Informationsausschöpfung möglich wird und eine optimale Flexibilität bei der Wahl entsprechender Modelle gewährleistet ist. Inwieweit andere Verfahren daher in Zukunft noch eine Existenzberechtigung haben, wird lediglich von der Relation von Aufwand und erstrebtem Nutzwert abhängen, ein Problem, das sich heute infolge mangelnder Erfahrung weder generell noch im einzelnen sicher beurteilen läßt.

Übersichten über verschiedene Verfahren der quantitativen EEG-Analyse finden sich bei BRAZIER (1961), ROSENBLITH (1962) und mit besonderer Berücksichtigung der Frequenz-Analyse bei MATOUSEK (1967). Weitere bemerkenswerte Analysenkonzepte wurden jetzt von HARDING (1966) und GUTTMANN (1967) entwickelt.

Geht man von einem allgemein gehaltenen Modell aus, das die bei einer Ableitung registrierte Aktivität als kontinuierliche Zeitfunktion betrachtet, so lassen sich die bis heute verfügbaren Analyseverfahren etwa nach folgenden Gesichtspunkten klassifizieren:

- 1) analoge oder digitale Verarbeitung der Zeitfunktion,
- 2) kontinuierliche Erfassung längerer Aktivitätsfolgen, d.h. der gesamten Hintergrundaktivität oder Selektion umschriebener Abschnitte, die aufgrund bestimmter Kriterien ausgewählt werden. Ein Beispiel dafür stellen einmal die bei der Registrierung von Reaktionspotentialen üblichen Mittelungsverfahren dar, die sich nur auf einen isolierten, dem Signal folgenden Zeitabschnitt beschränken, zum anderen die Verfahren, die sich auf die Extraktion einzelner, durch bestimmte Verlaufsmomente charakterisierter Ereignisse beschränken und unter den Begriff der sogenannten "pattern recognition"-Technik fallen.
- 3) Nutzung der gesamten die Zeitfunktion charakterisierenden Frequenz-, Amplituden- und Phaseninformation oder Beschränkung auf Teilaspekte, wie beispielsweise Intervalle oder Amplituden. Zu berücksichtigen ist, daß die auf einer Spektraltransformation der Zeitfunktion basierenden Verfah-

ren, wie die sogenannte Frequenzanalyse, zwar die Frequenz- und Amplitudeninformation bewahren, jedoch meist auf eine Wiedergabe der Phasenverhältnisse verzichten.

4) Berücksichtigung und Ausschöpfung der die Zeitfunktion charakterisierenden statistischen Eigenschaften. Die Aussagekraft der in diesen Bereich fallenden Verfahren, wie der Korrelations- und Varianz- oder "Power"-Spektralanalyse, beruht auf der Erfüllung verschiedener mathematischer Voraussetzungen, die im einzelnen zunächst überprüft werden müssen.

Bei dem in unserer Studie verwendeten Auswertesystem handelt es sich um die von BENTE und PENNING entwickelte Frequenz-Integrationsprofilanalyse, die auf der Frequenzanalyse basiert und einen Einkanal-Analysator und -Integrator von VAN GOGH benutzt, der in wiederholten Durchgängen mit den auf Analogband gespeicherten EEG-Ableitungen beschickt wird.

Das Auswerteverfahren beruht auf einer in 5 -Sekunden-Intervallen vorgenommenen Integration der mit einem aktiven Filter gewonnenen schmalbandigen Frequenzanalysats (1 Hz Bandbreite im Alphabereich). Die zunächst in analoger Form vorliegenden Integrationswerte werden dann digital gewandelt, als Ordinatenwerte auf einem Profilschreiber dargestellt und schließlich numerisch auf einem Fernschreiber und Lochstreifen ausgegeben. Das gesamte System ist so dimensioniert, daß die in mm-Schreibexkursion des Profilschreibers definierten Integrationswerte in linearer Abhängigkeit von der am Analysatoreingang auftretenden vom Magnetband gelieferten Signalspannung stehen. Da außerdem

die jeweilige EEG-Ableitung, das betreffende Analysat und die analogen Integrationswerte simultan dargestellt werden, ist eine fortlaufende Kontrolle aller bei diesem Verfahren vorgenommenen Meßwertumsetzungen möglich. Einzelheiten über den technischen Aufbau, Filtereigenschaften und Meßcharakteristik dieses elektroencephalographischen Datenerfassungssystems sind einer entsprechenden Publikation von BENTE und PENNING zu entnehmen. Die gesamte weitere Verarbeitung der gewonnenen Meßdaten erfolgt im Großrechner, wobei nach entsprechender Wandlung Lochkarten als Datenträger benützt werden.

Nach den oben angeführten Gesichtspunkten zur Einteilung quantitativer Analyseverfahren ist demnach dieses System folgendermaßen einzuordnen:

- 1) Es handelt sich um ein hybrides Datenerfassungssystem mit primär analoger Verarbeitung der originalen Signalfunktion und anschließender Digitalwandlung der erhaltenen Meßwerte.
- 2) Die im EEG vorliegenden Aktivitätsfolgen werden kontinuierlich erfaßt, wobei sich das resultierende Frequenz-Integrationsprofil auf beliebig lange Ableiteperioden erstrecken kann.
- 3) Genutzt wird die in der Signalfunktion enthaltene Amplituden- und Frequenzinformation, während die Phaseninformation nicht berücksichtigt wird.
- 4) Da es sich um eine reine Spektraltransformation der originalen Zeitfunktion nach dem Modell der Fourier-Analyse handelt, wobei das erscheinende Analysat den Fourier-Koeffi-

zienten entspricht, ist das Verfahren voraussetzungsfrei hinsichtlich wahrscheinlichkeitstheoretischer Annahmen über die Struktur des zugrundeliegenden stochastischen Prozesses. Andererseits lassen sich jedoch aus der Verteilung der anfallenden Integrationsmeßwerte Aufschlüsse über statistische Eigenschaften desselben gewinnen.

3. Möglichkeiten der Deduktion von Kennwerten

Bei Variierung des Parameters "Frequenz" lassen sich mit dem geschilderten Auswerteverfahren über den gesamten Bereich der vom Analysator erfaßten Frequenzen entsprechende Reihen von Integrationsmeßwerten als Grundlage für die statistische Deskription gewinnen (BENTE et al.). So können die Mittelwerte der Integrationswertfolgen, deren Streuung, Schiefe und Exzess für jede untersuchte Frequenz berechnet werden.

Bildet man aus den einzelnen Frequenzmittelwerten die Mittelwertssumme über einen bestimmten Frequenzbereich, beispielsweise den Alpha-Bereich, und bezieht man jeweils die ersteren auf diese Größe so erhält man normierte spektrale Indizes in Form der prozentualen Anteile der verschiedenen Frequenzen an der Gesamtaktivität.

Durch Bildung des Quotienten aus Streuung und Mittelwert der jeweiligen Frequenz erhält man Variabilitätskoeffizienten, die als Fluktuationswerte die Stabilität bzw. Labilität des Verlaufspröfils charakterisieren und damit die das Niveau des Integrationspröfils kennzeichnenden Mittelwerte ergänzen. Das Konzept des Variabilitätskoeffizienten wird auch bei MATOUSEK erwähnt, der außerdem darauf hinweist, daß solche relativen Werte wie Variabilitätskoeffizienten und spektrale Indizes weniger von Störvariablen abhängig sind als absolute Werte.

Durch gewichtete Aufsummierung der prozentualen Frequenzwerte z.B. nach der Formel $\sum_{i=1}^n (n-i) P_i$ (P = prozentualer Anteil, n = Anzahl der untersuchten Frequenzen) läßt sich ein Gesamtmaß für die Zusammensetzung des Spektrums aus den verschiedenen Frequenzen gewinnen, das man als spektrales "Schwerpunktsmaß" bezeichnen kann. Durch Summierung der quadrierten prozentualen Frequenzwerte nach der Formel $\sum_{i=1}^n P_i^2$ erhält man in ähnlicher Weise ein einfaches Maß für die Abweichung des Spektrums von einer Gleichverteilung der einzelnen Frequenzanteile, weshalb man etwa von einem "Steilheitsmaß" sprechen kann. Diese beiden Größen stellen demnach komplexere spektrale Variablen dar, die lediglich die Information der einzelnen Indizes zusammenfassen und daher in Bezug auf diese redundant sind.

In prinzipiell ähnlicher Weise können weitere Kennwerte gebildet werden. So verwendet beispielsweise MATOUSEK den Quotienten der im Theta- und Alphabereich gemessenen Aktivität. Er zeigt, daß dieser Quotient zur Gruppendifferenzierung gut zu gebrauchen ist und zwar optimal in der Form $\frac{\text{Theta}}{\text{Alpha} + 2 T}$, wobei T die Zeitdauer des Integrationsintervalls in Sekunden ist.

Aus arbeitsökonomischen Gründen und wegen der besseren Fehlerkontrolle ist eine maschinelle Berechnung all dieser Daten wünschenswert. Die Programmierung des Berechnungsweges aller Kennwerte ist ohne prinzipielle Schwierigkeiten möglich. Ein erster Ansatz dazu ist das Programm NRMP des DEUTSCHEN RECHENZENTRUMS, das aus den Integrationswertfolgen

die Mittelwerte, Streuungen, Schiefe und Exzess ermittelt und angibt, auf welchem Wahrscheinlichkeitsniveau die Annahme einer Normalverteilung gerechtfertigt ist.

4. Prüfung des Verfahrens und der Variablen auf die Erfüllung der Wertkriterien

Die in Kapitel 1 dargestellten Gütekriterien eines quantitativen diagnostischen Instruments beziehen sich jeweils auf verschiedene Teilaspekte des hier geschilderten Auswerteverfahrens:

- 1) Objektivität: a) die Durchführungs- und Auswertungsobjektivität auf das technische Verfahren und auf den statistischen Berechnungsweg
b) die Interpretationsobjektivität auf die Interpretation der Ergebnisse
- 2) Reliabilität: auf die Kennwerte und die Ergebnisse
- 3) Validität: auf die Kennwerte und die Ergebnisse
- 4) Normierung: auf die Kennwerte und Ergebnisse
- 5) Vergleichbarkeit: sowohl auf meßtechnische und statistische Verfahren als auch auf die Ergebnisse
- 6) Ökonomie: auf das technische und statistische Verfahren
- 7) Nützlichkeit: die Nützlichkeit einer quantitativen EEG-Analyse wurde bereits besprochen, wobei sich dieses Kriterium ebenfalls auf die Kennwerte und die Ergebnisse bezieht.

Zu der hier zu besprechenden Frage der Erfüllung der Wertkriterien vonseiten des technischen Verfahrens und der Kennwerte ergibt sich folgendes:

- 1) Die Durchführungs- und Auswertungsobjektivität kann als gut bezeichnet werden, da die EEG-Ableitemethoden weitgehend standardisiert sind, das Meßverfahren und die weitere statistische Bearbeitung des Datenmaterials völlig unabhängig von Untersuchungsbedingungen und Untersucher sind.

- 2) Die Reliabilität der Variablen ist durch Berechnung von Korrelationskoeffizienten zwischen Ableitungen, die zu verschiedenen Zeiten vorgenommen wurden, zu bestimmen (Re-Test-Reliabilität). Diese Methode ist anderen vorzuziehen, da hierbei auch der Einfluß geringer Variationen der Ableitbedingungen (Durchführungsobjektivität!) und die intraindividuelle Merkmalsinkonstanz in den numerischen Wert des Koeffizienten eingehen.
- 3) Es ist von vorneherein anzunehmen, daß bei klinischen Fragestellungen nicht die Ausprägung einer einzelnen isolierten Variablen irgendwelche validen Aussagen gestattet, sondern nur die unter Berücksichtigung des gesamten komplexen Variablensatzes gewonnenen Ergebnisse. Die Validität oder besser der Validitätsbeitrag der einzelnen Variablen läßt sich jedoch indirekt durch den Versuch erfassen, ob ihr Ausscheiden zu einer Verminderung der Validität der Ergebnisse der gesamten Variablenstruktur führt.
- 4) Die Normierung der Kennwerte kann an einer für eine bestimmte Fragestellung repräsentativen Stichprobe vorgenommen werden, wobei die Angabe von Mittelwert und Streuung der Meßwerte sowie die Kenntnis ihrer Verteilungsform die Aufstellung von Normen gestattet, die die Bestimmung der relativen Position eines Individuums hinsichtlich der Ausprägung jeweils einer Variablen gestatten.
- 5) Die Vergleichbarkeit mit anderen Analyseverfahren, Kennwerten und statistischen Konzepten ist, wie schon erwähnt, durch detaillierte methodische Angaben zu gewährleisten.

6) Eine Verbesserung der Ökonomie kann durch weitgehende Automatisierung des gesamten Analyse- und Auswertevorgangs erreicht werden.

7) Durch geeignete Verfahren der Variablenselektion können Kennwerte, die wenig zu den Ergebnissen beitragen, also wenig nützlich sind, eliminiert werden.

5. Analyse der Variablenstruktur und Methoden der Variablenselektion

Ein erster Überblick über die Struktur des Variablensatzes ergibt sich bereits aus der Höhe ihrer Interkorrelationen, wie sie einer entsprechenden Korrelationsmatrix zu entnehmen sind. Stark miteinander korrelierende Variablen, die auch in ihren Interkorrelationen mit anderen Variablen übereinstimmen, können ohne nennenswerten Informationsverlust ausgeschieden werden, da sie wenig zur Differenzierung beitragen, was einen ersten Schritt zur Variablenselektion darstellt.

Ein tieferer Einblick in die Struktur des Variablensatzes ist durch eine Clusteranalyse (HARMAN) der Korrelationsmatrizen zu gewinnen, wobei sich der wechselseitige Zusammenhang von Variablen in Form von Variablenballungen oder Variablenwolken darstellt.

Schließlich können die wesentlichen, wechselseitig unabhängigen Dimensionen eines Variablensatzes durch eine Hauptkomponenten- bzw. Faktorenanalyse (HARMAN, PAWLIK) aufgedeckt und beschrieben werden. Da die resultierende Faktorenenstruktur, auf die die Variablen in Form von Faktorenladungen abgebildet werden, meist wesentlich einfacher ist als der ursprüngliche Merkmalsraum, ist die Faktorenanalyse ein klassisches Verfahren zur Reduktion und Ordnung derselben. Außerdem können ihre Ergebnisse wesentlich zur Konstruktvalidierung beitragen.

6. Möglichkeiten verschiedener Untersuchungsarten

Die Anwendung des geschilderten Analyseverfahrens läßt sich grundsätzlich in folgender Richtung variieren:

- 1) Durch die Untersuchung verschiedener Frequenzbereiche (Alpha-, Beta-, Theta-, Delta-Spektrum).
- 2) Nach dem Ableiteort und der Ableitart (beispielsweise rechte Occipitalregion monopolar zu einer Referenzelektrode am rechten Ohr)
- 3) Nach verschiedenen Untersuchungsbedingungen (beispielsweise psychosensorielles Belastungs-, Ruhe- oder Schlaf-EEG)

Hinsichtlich der klinischen Anwendung sind methodisch im wesentlichen 2 Untersuchungsarten zu unterscheiden:

- a) die Querschnitt- und b) die Längsschnittuntersuchung an entsprechenden Patienten.

So kann die Querschnittuntersuchung dazu dienen, gruppentypische EEG-Kriterien zu isolieren, die beispielsweise diagnostisch verschiedene psychiatrische Patientengruppen sicher differenzieren. Streubreite und Spezifität solcher Gruppenkennzeichen lassen sich dann quantitativ erfassen.

Die Längsschnittuntersuchung ist vor allem zur Analyse reaktiver Veränderungen geeignet, wie sie beispielsweise unter der Einwirkung von Medikamenten, aber auch unter psychophysiologischen Belastungen wie beim Schlafentzug auftreten. Ein entsprechendes Anwendungsbeispiel findet sich bei RANNEBERG, der die durch Neuroleptica bewirkten Veränderungen im Alpha-Bereich untersuchte. Das Endziel solcher Verlaufs-

analysen wäre die Aufstellung einer Typologie der Reaktionsabläufe (FAHRENBURG S. 71).

Die aus Querschnittuntersuchungen gewonnenen "statistischen" Gruppenunterschiede und die aus Längsschnittanalysen zu ermittelnden "dynamischen" Reaktionstypen verschiedener Gruppen könnten kombiniert zu einer spezifischen Individualdiagnose anhand quantitativer EEG-Daten führen, wobei natürlich auch andere Analysenkonzepte wie die Untersuchung der Periodizitätsverhältnisse (GUTTMANN) heranzuziehen wären. Dieses Ziel kann nur erreicht werden, wenn die Auffindung trennscharfer Parameter gelingt. Eine eingehende und subtile Variablenanalyse und -selektion stellt hierzu eine wesentliche methodische Voraussetzung dar.

Nachdem RANNEBERG in seiner Längsschnittuntersuchung nachweisen konnte, daß mit der Frequenz-Integrationsprofilanalyse eine trennscharfe Erfassung der hirnelektrischen Aktivität auf psychotrope Pharmaka möglich ist, soll in dieser Studie die Möglichkeit der Aufdeckung von Gruppenunterschieden durch eine Querschnittuntersuchung überprüft werden. Im folgenden sollen daher zunächst die statistischen Analysenkonzepte und Verfahren erörtert werden, die für diese Fragestellung eingesetzt werden können.

7. Statistische Auswertekonzepte

7.1 Vorbemerkungen

Erst im Laufe des letzten Jahrzehnts sind die Voraussetzungen für die statistische Analyse eines derart komplexen Datenmaterials, wie es die quantitative EEG-Auswertung liefert, geschaffen worden und in den Gesichtskreis der biometrisch-medizinischen Forschung getreten. Das hat seine Ursache vor allem darin, daß die Verarbeitung eines sehr umfangreichen Datenmaterials mit komplizierten statistischen Verfahren erst durch die zunehmende Verbreitung, Kapazität und Flexibilität elektronischer Datenverarbeitungsanlagen ermöglicht worden ist.

Daß für die Lösung psychophysiologischer Probleme im Prinzip nur multivariate Analysenkonzepte angemessen sind, geht zum Beispiel aus folgenden Äußerungen FAHRENBURG's hervor:

"Modellvorstellungen, die auf Annahmen wie univariater Determination, Additivität und Linearität der Daten-Beziehungen beruhen, werden als sachlich unangemessene Konzepte betrachtet, die nur fragwürdige Approximationen gestatten und deshalb durch komplexere Analysekonzepte ersetzt werden müssen".

"Die Analysen müssen multivariabel angelegt sein, um das Funktionsspektrum wenigstens annäherungsweise zu repräsentieren."

" Die psychophysische Kovarianz kann zunächst korrelations-

statistisch untersucht werden. Der Wunsch nach Gliederung, Klassifikation, Syndrombildung und Beziehungsanalyse funktioneller Einheiten legt die Anwendung moderner Methoden der multivariablen Forschungsstatistik wie automatische Klassifizierung, Diskriminanzanalysen und Faktorenanalysen nahe."

Je nach der Struktur der Daten und ihrer Verteilung gabelt sich der bei der statistischen Analyse einzuschlagende Weg in parametrische und nichtparametrische Methoden. Bei den ersteren handelt es sich um Verfahren, die intervallskalierte Daten und eine bestimmte Verteilungsform derselben, meist im Sinne einer uni- oder multivariaten Normalverteilung voraussetzen. Demgegenüber fordern die nichtparametrischen Verfahren keine bestimmte Verteilungsform und sind auch auf Daten anwendbar, die nur den Charakter von Rangplatz- oder Häufigkeitswerten haben. Dabei ist natürlich die Stärke und Effizienz eines statistischen Tests umso höher, je vollständiger die in den Daten enthaltene Information genützt wird. Deshalb bringt der Übergang von intervallskalierten Meßwerten auf ordinalskalierte Rang- oder reine Häufigkeitswerte immer eine entsprechende Effizienzminderung mit sich (LIENERT 1962, S. 45).

Jeder der beiden Wege hat seine Vor- und Nachteile. Nichtparametrische Verfahren sind wegen ihrer Voraussetzungsarmut im Falle ungenügender Informationen über die den Daten zugrundeliegende Verteilungsfunktion vorzuziehen. Allerdings haben sie gegenüber dem entsprechenden parametrischen Verfahren, falls die Voraussetzung für ihre Anwendung erfüllt

sind, den Nachteil der geringeren Effizienz. Es ist jedoch wichtig, darauf hinzuweisen, daß die fälschliche Anwendung parametrischer Verfahren im allgemeinen eine wesentlich größere Effizienzminderung, nämlich eine Steigerung des Risikos II bedeutet als die nichtparametrische Behandlung eines Materials, für das eine parametrische Methode zulässig wäre. LIENERT kommt daher zu folgendem Schluß (1962, S.55): "Im ganzen gesehen kann man also....nicht parametrische Tests mit ebensovielen Sicherungsaussichten anwenden wie parametrische Tests. Man geht dabei kein wesentlich höheres Risiko II mehr ein. Vorbehalten bleiben dem klassischen Verfahren lediglich noch die faktoriellen Versuchspläne."

Der unbestreitbare Vorteil parametrischer Verfahren liegt demnach darin, daß es hier differenzierte Methoden zur Aufdeckung komplexerer Zusammenhänge wie die Faktoren-, multiple-Diskriminanz- und Mehrwegvarianzanalyse gibt, denen bisher auf nichtparametrischer Seite noch keine gleichwertigen Verfahren gegenüberstehen.

7.2 Statistische Auswerteverfahren und ihre Anwendung in der elektronischen Datenverarbeitung

Es werden hier nur diejenigen Verfahren geschildert, die zur Prüfung auf Gruppenunterschiede in der Querschnittanalyse geeignet sind, wobei jeweils deren Voraussetzungen, ihr Prinzip und ihre Aussagekraft kurz dargestellt werden. Wegen der Bedeutung der praktischen Anwendbarkeit der Verfahren in der elektronischen Datenverarbeitung sei hier eine Aufstellung anhand der einschlägigen Programme des

DEUTSCHEN RECHENZENTRUMS gegeben.

Programm (1) NRMP (Normalitätsprüfung)

Voraussetzungen: stetig verteilte Meßwerte

Prinzip: Aus den eingegebenen Daten werden das arithmetische Mittel, Standardabweichung, Schiefe und Exzess der Verteilung der Meßwerte berechnet. Zur Prüfung der Verteilung auf Normalität werden die 3. und 4. Stichprobenmomente benutzt. Die Null-Hypothese (keine Abweichung von der Normalverteilung) kann auf verschiedenen Signifikanzniveaus widerlegt werden ($p = 0.05, 0.01, 0.001$).

Aussage: Die Testmethode ist konservativ, d.h. es wird eher das Risiko II eingegangen. Es ist dabei wichtig zu betonen, daß eine nicht signifikant von der Normalverteilung abweichende Verteilung noch nicht zur unbeschränkten und kritiklosen Anwendung von parametrischen Verfahren berechtigt. Die Effizienz des nichtparametrischen Tests kann (besonders bei kleinen Stichproben (LIENERT 1962, S. 54) bei 10%iger oder 20%iger Irrtumswahrscheinlichkeit höher sein als die des nichtparametrischen (LIENERT 1962, S. 42). Nur der umgekehrte Schluß, daß die signifikant abweichenden Verteilungen unbedingt nichtparametrisch behandelt werden sollten, ist immer zutreffend.

Je nach dem Ergebnis dieses ersten Schrittes ergeben sich nun zwei Möglichkeiten:

1) Man kann das Resultat akzeptieren und entsprechend weiter verfahren.

2) Man kann im Falle einer nicht normalen Datenverteilung diese normalisieren, um auf jeden Fall mit parametrischen Methoden weiterrechnen zu können. Dazu ist jedoch die Kenntnis der Ursache der Nicht-Normalität der Verteilung nötig, d.h. es darf kein logisch oder sachlich begründeter Einwand gegen die Annahme bestehen, daß die Verteilung der gesamten Population im Gegensatz zur vorliegenden Stichprobe als normal verteilt gelten kann. (Gründe nicht normaler Verteilungen bei LIENERT 1967, S. 176). Von einer allzu bedenkenlosen 'Normalisierung' ist zu warnen, wenn die Ursachen der fehlenden Normalität nicht geklärt werden können, da "normalisierte" Standardwertskalen im allgemeinen nur Ordinalskalen, jedoch keine für parametrische Verfahren zu fordernde Intervallskalen sind (MICHEL, S. 30).

7.2.1 Parametrische Verfahren

Aus den obigen Darlegungen geht hervor, daß bei Verfügbarkeit von nichtparametrischen Methoden diese den entsprechenden parametrischen vorzuziehen sind, weil die oft aufwendige Überprüfung der Anwendungsvoraussetzungen parametrischer Verfahren sich erübrigt - bei kaum ins Gewicht fallender Effizienzminderung in einem geringen Teil der Anwendungsfälle, jedoch wesentlich höherer Effizienz in der größeren Zahl von Fällen nicht streng normal verteilter Meßwerte, besonders kleiner Stichproben. Parametrische Verfahren sind deshalb fast ausschließlich denjenigen Problemen vorbehalten, zu deren Lösung bisher keine gleichwertigen nicht-parametrischen Methoden zur Verfügung stehen.

Die zahlreichen Voraussetzungen und die Theorie dieser multivariaten Verfahren vom Typus der Faktoren- und Diskriminanzanalyse können hier nicht ausführlich besprochen werden. Die wesentlichen Voraussetzungen zur Anwendbarkeit dieser Verfahren, vor allem der Faktorenanalyse, sind intervallskalierte Variablenmeßwerte, Normalverteilung und Linearität der Regressionen. Die Normalität kann, wie bereits ausgeführt, durch das Programm NRMP geprüft werden, die Linearität der Regressionen durch die Programme LIPR und LINP, wobei abgetestet wird, ob eine quadratische oder kubische Regressionskurve der gegebenen Datenverteilung angemessener ist als eine Regressionsgerade (WEBER und BROTT). FAHRENBERG weist darauf hin, daß auch in der psychologischen Forschung von einer unkritischen Anwendung dieser Verfahren

immer mehr Abstand genommen wird und die mathematischen Voraussetzungen des faktorenanalytischen Konzepts strenger beachtet werden (FAHRENBERG, S. 196).

Programm (2) PAFA (Faktorenanalyse)

Prinzip: Mit diesem Programm können sowohl vollständige (Hauptkomponentenanalyse) als auch reduzierte Faktorenlösungen (Faktorenanalyse im engeren Sinne) erhalten werden, je nachdem, ob in die Hauptdiagonale als Kommunalitätsschätzung 1 (Fall 2) oder der größte Korrelationskoeffizient (Fall 1) bzw. das Quadrat des multiplen Korrelationskoeffizienten einer Zeile (Fall 3) eingesetzt wird. Bei der vollständigen Lösung wird die gesamte Varianz durch die Faktoren ausgeschöpft, bei der reduzierten Lösung gehen die variablenspezifischen und durch Meßfehler bedingten Varianzanteile nicht in die Faktoren ein, d.h. daß der vollständigen bzw. reduzierten Faktorenlösung verschiedene Bestimmungsgleichungen zugrunde liegen. Die Kommunalitäten geben dabei jeweils ein Maß für die durch die Faktorenlösung ausgeschöpften Varianzanteile der einzelnen Variablen. Durch die Faktorenanalyse wird der ursprüngliche durch einen neuen Variablenraum, den sogenannten Faktorenraum ersetzt, wobei die erhaltenen Faktoren neue wechselseitig statistisch unabhängige Variablen (Orthogonalitätsbeziehung) darstellen. Die Beziehung der Ausgangsvariablen zu dem resultierenden Faktoren wird durch die jeweiligen Faktorenladungen repräsentiert. Durch eine anschließende Faktorenrotation nach dem Varimaxkriterium kann die Lage der Faktoren so bestimmt werden; daß sie der Bedingung der "Einfachstruktur" genügen (rotierte Lösung).

Aussage: Die Faktorenanalyse gibt im Rahmen unserer Fragestellung die Möglichkeit, die Dimensionalität und Struktur eines komplexen Variablensatzes zu untersuchen und Strukturdifferenzen desselben bei verschiedenen Gruppen aufzudecken, woraus sich gegebenenfalls Rückschlüsse auf gruppentypische Parameter ziehen lassen.

Die Faktorenanalyse kann durch weitere Verfahren, die bei dieser Studie noch nicht benutzt wurden, ergänzt und weiter ausgebaut werden. Durch das Programm (3) FAST können die bei verschiedenen Gruppen erhaltenen Faktorenlösungen

auf Übereinstimmung geprüft werden. Mit dem Programm (4) FASK ist es möglich, die Faktorenwerte, welche die Standardwerte der Probanden in den neuen Variablen (Faktoren) darstellen, zu berechnen. Auf diese Weise läßt sich für den Fall, daß die Struktur des ursprünglichen Variablensatzes bei den untersuchten Gruppen homogen ist, prüfen, ob Verteilungsunterschiede der verschiedenen Faktorwerte zwischen den Gruppen bestehen.

Programm (5) BMD 05 M DISC (multiple Diskriminanzanalyse)

Prinzip: Die multiple Diskriminanzanalyse stellt eine Verallgemeinerung der FISHER'schen Diskriminanzanalyse für den multivariaten Fall dar. Sie prüft, ob signifikante Unterschiede der Variablen-Mittelwertvektoren zwischen zwei oder mehreren anhand eines externen Kriteriums bestimmten Gruppen bestehen. Durch eine lineare und gewogene Kombination der Variablenwerte werden Trennfunktionen dann so bestimmt, daß das Verhältnis der Varianz zwischen den Gruppen zur Varianz innerhalb der Gruppen maximiert wird, um auf diese Weise eine möglichst trennscharfe Aufgliederung der Verteilungen der einzelnen Gruppen zu erhalten. Die Zahl der zur Gruppentrennung erforderlichen Diskriminanzfunktionen ist dabei abhängig von der Dimensionalität der zwischen den zu trennenden Gruppen vorhandenen Variation. In einem letzten Schritt werden für jeden Probanden die Wahrscheinlichkeiten bestimmt, mit denen er den einzelnen Gruppen zugeordnet werden kann (Zuordnungswahrscheinlichkeit). Der jeweils größte Wahrscheinlichkeitswert wird dabei zur Grundlage seiner Klassifikation in die vorgegebene Gruppeneinteilung gemacht, sodaß eine Klassifikationsmatrix für die Gruppenzugehörigkeit der Probanden resultiert.

Aussage: Die multiple Diskriminanzanalyse eignet sich demnach zur Beantwortung der Frage, ob und inwieweit sich Gruppeneinteilungen unter klinischen Gesichtspunkten auch in den gewonnenen elektroencephalographischen Daten reflektieren. Sie stellt demnach für solche Querschnittanalysen das adäquateste Instrument dar. Als Voraussetzung geht auch hier die Annahme einer multivariaten Normalverteilung sowie die Gleichheit der Dispersionsmatrizen der zu trennenden Gruppen ein.

Ergänzend wäre darauf hinzuweisen, daß durch die in unserer Studie nicht verwandten Verfahren der schrittweisen Diskriminanzanalyse - Programm (6) BMD 07 M - der Diskriminanzbeitrag jeder einzelnen Variablen zur Gruppentrennung geprüft werden kann. Darüberhinaus existieren jetzt automatische Klassifizierungsverfahren - Programm (7) AUKL - die ohne vorgegebene Gruppeneinteilung arbeiten und entsprechende Gruppierungen aus der internen Struktur der zur Verfügung stehenden Daten bilden. Auf diesem Wege dürfte es möglich werden, zu einer nur auf elektroencephalographischen Meßdaten beruhenden Gruppierung von Patienten zu gelangen und diese mit der aufgrund externer, beispielsweise klinisch-diagnostischer Kriterien getroffenen Einteilung zu vergleichen. Ein entsprechendes medizinisches Anwendungsbeispiel ist bereits von LIEBAU geliefert worden.

Abschließend sei nochmals darauf hingewiesen, daß bei Nicht-Erfüllung der durch die geschilderten Verfahren geforderten Voraussetzungen diesbezügliche Ergebnisse nur einen beschränkten Aussagewert haben. Ihre Anwendung ist daher in derartigen Fällen nur vertretbar, wenn sie rein heuristisch zur Exploration sonst unzugänglicher Zusammenhänge vorgenommen wird und zumindest bestimmte Teilaspekte der resultierenden Ergebnisse durch voraussetzungsfreiere Verfahren bestätigt werden und sich damit als methodeninvariant erweisen.

7.2.2 Nichtparametrische Verfahren

Zur statistischen Verifizierung von Gruppenunterschieden hinsichtlich der Ausprägung einzelner EEG-Analyse-Variablen, steht das Programm (8) zur Verfügung, das auf dem nichtparametrischen Testverfahren nach KRUSKAL-WALLIS und MANN-WHITNEY beruht.

Programm (8) (Distribution-free one-way analysis of variance) Share-Bibliothek-Programm G 4 PQ KNAV (1345) des DRZ

a) KRUSKAL-WALLIS-Test:

Prinzip: Es wird die Null-Hypothese geprüft, daß die unabhängig gewonnenen Einzelstichproben aus ein- und derselben Grundgesamtheit stammen. Nach ANDREWS besitzt der Test eine asymptotische Effizienz von 95.5 % (zitiert nach LIENERT 1962 S. 120).

Aussage: Bei der Suche nach gruppendifferenzierenden Variablen kann der Test angeben, bei welchen Variablen die Zurückweisung der Null-Hypothese gerechtfertigt ist. Der Test zeigt demnach an, ob Unterschiede hinsichtlich einer bestimmten Variable zwischen den einzelnen Gruppen so groß sind, daß diese nicht mehr als zufällige Stichproben mit einheitlicher zentraler Tendenz aus einer Grundgesamtheit angesehen werden können

b) MANN-WHITNEY-Test:

Prinzip: Ausgangsdaten mit Rangplatzinformation; stetige Verteilung der Daten, wobei nach LIENERT 1962, S. 21 gilt: "Ein Merkmal ist so lange als stetig verteilt anzusehen, als weder vom Logischen noch vom Sachlichen her ein Einwand gegen diese Annahme geltend gemacht werden kann". Vergleich zweier unabhängiger Stichprobenverteilungen hinsichtlich ihrer zentralen Tendenz.

Aussage: Durch den Test können jeweils zwei Einzelstichproben hinsichtlich einer Variablen abgetestet werden. Es ist der voraussetzungsloseste, exakteste und deshalb adäquateste Test zur Auffindung von paarweisen Gruppenunterschieden hinsichtlich einer Variablen. Seine Effizienz wird mit 0.95 angegeben. (Nach MOOD, A.M. zitiert nach LIENERT 1962, S. 112).

Zur Problemstellung "Auffindung von Gruppenunterschieden" kann man also zusammenfassend feststellen, daß der MANN-WHITNEY-Test als ein zulässiges und adäquates Verfahren zur Feststellung isolierter Variablenunterschiede zwischen Probandengruppen anzusehen ist. Die Faktorenanalyse ist dagegen geeignet, komplexere Strukturunterschiede der Variablensätze in den Gruppen aufzudecken. Die Diskriminanzanalyse ist ein angemessenes Verfahren zur Untersuchung der Tauglichkeit des Variablensatzes zur Gruppendiskriminierung. Die Ergebnisse der beiden letzten Methoden sind jedoch, wenn die Erfüllung der Anwendungsvoraussetzungen fraglich bzw. nachweislich nicht gegeben sind, nur mit Vorbehalten und Einschränkungen interpretierbar.

8. Prüfung von quantitativen Ergebnissen auf die Erfüllung der Wertkriterien

Aus der in Kapitel 4 gegebenen Übersicht geht hervor, daß die Ergebnisse der statistischen Auswertung und ihre Interpretation mehreren Kriterien genügen müssen:

1) Die Interpretationsobjektivität wird umso besser sein, je mehr die Interpretationsmöglichkeiten durch quantitative Angaben und Signifikanzbeurteilungen in ihrer Richtung und in ihrem Ausmaß determiniert sind, d.h. je weniger die Interpretation der individuellen Erfahrung oder dem Einfühlungsvermögen eines Beurteilers überlassen bleiben muß.

2) Die Reliabilität von Ergebnissen ist von der Höhe der Reliabilität des verwendeten Variablensatzes abhängig. Es ist jedoch zu erwarten, daß die Stabilität der Struktur die Stabilität ihrer Elemente übersteigt.

3) Die Frage der Validität von Ergebnissen der Gruppendifferenzierung kann nur so verstanden werden: In welchem Ausmaß stimmt die Diskriminierung der Gruppen anhand der EEG-Analysedaten mit der klinisch-diagnostischen Unterteilung überein?

Die Diskriminanzanalyse ist demnach das adäquate Verfahren zur Validierung der quantitativen EEG-Analyse, unter der Annahme, daß die klinische Diagnose ein reliables Validitätskriterium ist, von dem außerdem noch erwartet wird, daß es zulänglich hinsichtlich der Repräsentanz des zu messenden Merkmals ist.

Den "Validitätsbeitrag" einzelner Variablen kann man nach den in Kapitel 4 angegebenen Verfahren schätzen, bzw. durch die schrittweise Diskriminanzanalyse erfassen. Auf dem Wege der "Konstruktvalidierung" wäre ein wesentlich voraussetzungsloseres Vorgehen möglich, nämlich den Merkmalskomplex bzw. das "Konstrukt" zu bestimmen, das das EEG-Analyseverfahren zu messen in der Lage ist. Jedoch liegen zu einem solchen Vorgehen bisher zu wenig quantitative Resultate vor.

4) Die Ergebnisse der statistischen Analyse einer für die Fragestellung repräsentativen Stichprobe müssen in Normen ausgedrückt werden, die die Bestimmung der individuellen Position gestatten, was etwa durch die Bestimmung der Faktorewerte möglich ist.

9. Schlußbemerkungen

Aus den geschilderten Beispielen von heute verfügbaren und bewährten Programmen zur Analyse eines sehr umfangreichen Datenmaterials geht hervor, daß für die hier behandelten Fragestellungen Wege einer exakten Beantwortung möglich sind, die bislang noch außerhalb der Zugänglichkeit quantitativer Methoden lagen.

Die Arbeiten der Statistiker, möglichst immer voraussetzungslosere und effizientere, dabei jedoch komplexere Datenkonfigurationen erfassende Testverfahren zu erstellen sowie die laufende Vereinfachung der Anwendung von Elektronenrechnern und die fortschreitende Vergrößerung ihrer Kapazität durch symbolische Programmsprachen lassen die Möglichkeiten der quantitativen Verarbeitung auch eines sehr umfangreichen und vielfältigen Datenmaterials in günstigem Licht erscheinen.

Es kann als sicher gelten, daß nur auf diesem Wege, nämlich der exakten Analyse objektiv zugänglicher, auf ihre Reliabilität und Validität geprüfter Daten und deren komplexer, jedoch streng quantitativer Erfassung und Verarbeitung ein gesicherter Fortschritt des Wissens in der experimentellen Psychiatrie und in der psychophysiologischen Forschung möglich sein wird.

Im zweiten Teil soll nun ein Anwendungsbeispiel des geschilderten elektroencephalographischen Auswertverfahrens dargestellt werden. Wenn auch dabei nicht alle dargelegten methodischen Aspekte berücksichtigt werden können, so soll doch die grundsätzliche Brauchbarkeit des in diesem Teil dargestellten Konzeptes nachgewiesen werden.

Darstellung eines Beispiels:

Die Differenzierung psychiat-
rischer Krankheitsgruppen

10. Problem und Versuchsplan

Um 1. die Anwendbarkeit des im ersten Teil geschilderten elektroencephalographischen Auswerteverfahrens (Frequenz-Integrationsprofilanalyse), 2. die Brauchbarkeit der deduzierten Variablen zu prüfen und 3. die praktische Anwendbarkeit und Brauchbarkeit der dargelegten statistischen Verfahren und Programme zu schildern, wurde folgender Versuch geplant:

In einer Querschnittanalyse sollten verschiedene Gruppen psychotischer Patienten analysiert werden. Es sollten klinisch-psychiatrisch möglichst eindeutig diagnostizierte, in sich homogene, jedoch untereinander klar unterscheidbare Gruppen sein.

Als einfachste Versuchsanordnung bot sich eine Querschnittanalyse unter Berücksichtigung des Alphasppektrums der mit einer monopolen Ableitung zum gleichseitigen Ohr erfaßten Ruheaktivität der rechten Occipitalregion an.

Das Ziel war die Auffindung von EEG-Analyse-Variablen, die zur Differenzierung der Gruppen geeignet sind bzw. die Feststellung der gruppendifferenzierenden Fähigkeit des gesamten Variablensatzes. Um prüfen zu können, ob die quantitative EEG-Analyse der visuell-morphologischen Auswertung überlegen ist, wurde als zusätzliche Bedingung eingeführt, daß die untersuchten Patientengruppen zwar klinisch-diagnostisch gut unterscheidbar, jedoch elektroencephalographisch mit der visuell-morphologischen Auswertung kaum differenzier-

bar sein sollten, indem sie in den sogenannten Normalbereich des elektroencephalographischen Verhaltens fallende Befunde zeigten.

11. Gewinnung der Ausgangsdaten und Deduktion weiterer Kennwerte

Analysiert wurden jeweils 8 Minuten Ruheableitung bei geschlossenen Augen in entspannter sitzender Haltung, sodaß sich pro Person und analysierter Frequenz jeweils 96 - 100 Meßwerte ergaben. Untersucht wurden die fünf Alphafrequenzen 8,5, 9,4, 10,3 11,4 und 12,5 Hz im Bereich der rechten Occipitalregion.

Die pro Person anfallenden 5 mal ca. 100 zweistelligen Integrationsmeßwerte wurden in Lochkarten gestanzt und mit dem Programm NRMP verarbeitet. Ausgegeben wurden Mittelwerte und Streuung der Meßwerte sowie Schiefe¹⁾ und Exzess der Meßwertverteilung jeder Frequenz in fünf- bzw. vierstelliger Exponentenschreibweise. Außerdem wurde die Anpassung der Meßwertverteilungen an die Normalverteilung auf den drei verschiedenen Signifikanzniveaus geprüft.

Weitere Variablen wurden von Hand aus diesen Daten berechnet: die Summe der Mittelwerte pro Proband ergab ein Maß für die durchschnittliche Gesamtspannungsproduktion im Alphabereich. Die jeweiligen prozentualen Anteile der Mittelwerte der Einzelfrequenzen an dieser Mittelwertsumme ergaben 5 weitere Kennwerte für jede Vp.

¹⁾ Zu den ausgegebenen Schiefewerten wurde jeweils 3.0 addiert, um negative Werte zu beseitigen. Dadurch entsteht hinsichtlich der gruppenunterschiedlichen Ausprägung dieser Variablen (Schiefe!) keine Relationsänderung.

Die Quotienten der Streuung der Integrationswertfolgen und der zugehörigen Mittelwerte bildeten 5 Variabilitätskoeffizienten für die untersuchten Frequenzen. Nach den in Kapitel 3 angegebenen Formeln wurden das "Steilheitsmaß" und "Schwerpunktsmaß" des Alphaspektrums berechnet.

So ergaben sich insgesamt 32 Variablen, die in Tabelle 1 aufgeführt sind.

Die für jede Person ermittelten Daten dieser 32 Variablen wurden jeweils in vierstelligem Format auf 2 Lochkarten gestanzt und standen nun zur weiteren Verrechnung zur Verfügung.

Im Sinne der von FAHRENBURG gegebenen Parameterklassifikation können die hier aufgestellten Variablen als "Niveauwerte" (Var. 1-5, 16, 20), "Fluktuationswerte" (Var. 6-10, 17, 21-27) und "abgeleitete, komplexe Indizes" (Spektral-Indizes) (Var. 11-15, besonders 18 und 19) bezeichnet werden.

Um terminologische Mißverständnisse zu vermeiden, soll im folgenden grundsätzlich die Benennung der Variablen bzw. der Variablenmeßwerte wie in Tabelle 1 gehandhabt werden.

12. Aufstellung der Gruppen

Bei der Auswahl der Probanden waren folgende drei Gesichtspunkte maßgebend:

- 1) Es sollten möglichst in sich homogene, jedoch untereinander diagnostisch gut abgrenzbare und unterscheidbare Gruppen sein.
- 2) Die EEGs aller Probanden, die dem Magnetbandarchiv entnommen wurden, waren unter besonders gewissenhafter Kontrolle abgeleitet worden, da sie zu Forschungszwecken verwendet werden sollten und boten daher die Gewähr für ein maximal taugliches Ausgangsmaterial (Durchführungsobjektivität der Ableitung!). Die klinisch-psychiatrischen Diagnosen dieser Patienten, die als Kriterium der Gruppeneinteilung dienten, waren von einem erfahrenen Untersucher gestellt worden. Dies ist wesentlich für die Frage der Tauglichkeit der klinischen Diagnose als Validitätskriterium.

LIENERT (S.276, 1967) weist darauf hin, daß eine "Objektivierung" und "Quantifizierung" eines subjektiven, qualitativen Validitätskriteriums, um das es sich bei psychiatrischen Diagnosen handelt, durch ein "rating" mehrerer Fachleute erreicht werden könne. Dieses Verfahren ist jedoch auch problematisch, da es zur Urteilsübereinstimmung infolge von Stereotypen bzw. zur Meinungskonvergenz bei "Gruppenleistungen vom Typus des Bestimmens" kommen kann. (HOFSTÄTTER 1957).

3) Von allen Probanden waren noch anderweitige Daten vorhanden, z.B. testpsychologische Ergebnisse, die eine spätere Erweiterung der Fragestellung auf Korrelationen einzelner klinischer, psychologischer und elektroencephalographischer Daten zulassen.

Es wurden so folgende drei Gruppen ausgewählt:

Gruppe 1 : N = 41 nicht psychotische Probanden, sämtlich Studenten der Universität Saarbrücken, die als "Normalgruppe" dienen sollten.

Gruppe 2 : N = 30 floride paranoid-halluzinatorische Psychosen vom Typus der Schizophrenie.

Gruppe 3 : N = 29 periodische cyclothyme Depressionen.

Eine Kritik an der Aufstellung dieser Gruppen wird sich zunächst gegen die Auffassung der Gruppe 1 als "Normalgruppe" richten. Da jedoch die Anzahl der EEGs nicht-psychotischer, hirnorganisch gesunder Personen im anfallenden Untersuchungsmaterial eines EEG-Labors naturgemäß sehr gering ist, konnte eine Auswahl in Form einer annähernd repräsentativen Stichprobe nicht erreicht werden. Der Begriff "normal" ist hier also im Sinne der "statistischen Norm" nicht zulässig, wohl aber in dem Sinne der logischen Negation zu psychotisch = "nicht normal."

Weitere Kritikmöglichkeiten ergeben sich, wenn man die wesentlichen Parameter dieser drei Stichproben, Alter und Geschlecht, betrachtet:

	Geschlecht		Alter (Jhr;Monate)	
	männl.	weibl.	Mittelwert	Streuung
1. N = 41	30	11	24;4	2;4
2. N = 30	-	30	34;7	8;9
3. N = 29	-	29	40;6	11;4

Nicht nur wünschenswert, sondern unbedingt zu fordern wäre ein Ausgleich dieser Parameter, sollten etwaige EEG-Gruppenunterschiede, wie angestrebt, auf die psychotische Erkrankung der Probanden zurückgeführt werden können. Der Ausgleich dieser Parameter konnte aus zwei Gründen nicht erreicht werden:

- 1) standen nicht genügend Probanden zu einer solchen Auswahl zur Verfügung. Wir mußten uns mit den hier verwendeten Stichproben begnügen, um deren Umfang auf dieser Höhe halten zu können.
- 2) wäre selbst bei beliebig großem Krankengut ein grundsätzliches Hindernis beim Ausgleich der Parameter zu bedenken: nämlich die deutliche Geschlechts- und Altersabhängigkeit mancher Psychoseformen (z.B. starkes Überwiegen cyclothymen Depressionen bei Frauen, altersmäßig frühere Manifestation schizophrener Erkrankungen). Ein völliger Ausgleich dieser Parameter würde daher zu atypischen, keineswegs repräsentativen Psychosegruppen führen.

Bei der Interpretation etwaiger gruppenspezifischer Unterschiede im EEG ist daher Zurückhaltung am Platze. Grundsätzlich können nur solche Ergebnisse als Korrelate der entsprechenden Erkrankungsformen aufgefaßt werden, die

den aufgrund der Geschlechts- und Altersunterschiede zu erwartenden elektroencephalographischen Trends entgegengesetzt sind.

Das hier zu lösende Problem ist jedoch weniger die Feststellung von differenzierenden und diskriminierenden EEG-Variablen hinsichtlich spezieller Psychose-Gruppen, sondern die wesentlich allgemeinere Frage: Ist eine quantitative Diskriminierung von EEG-Gruppen, die nach der visuell-morphologischen Auswertung in den "Normalbereich" fallen, mit der Frequenz-Integrationsprofilanalyse möglich? (zum elektroencephalographischen Normbegriff siehe BENTE 1964, S.13).

Bei der Beantwortung dieser Frage spielen die oben angeführten Parameter zunächst eine untergeordnete Rolle. Das in erster Linie angestrebte Ziel ist also die "Auffindung von intraindividuell sehr stabilen, zwischen den Personen aber weit streuenden Frequenzcharakteristiken, die sich im EEG-Makrorhythmus nicht unmittelbar abbilden" (GUTTMANN, S.394).

In Tabelle 2.1 - 2.4 sind die Gruppenmittelwerte der 32 Variablen und deren Streuung, Schiefe und Exzess sowie die Prüfung der Meßwertverteilungen aller Variablen aller Gruppen auf "Normalität" mit Signifikanzangabe aufgeführt.

13. Prüfung der Variablen auf die Erfüllung der Wertkriterien

Führt man die Analyse der Variablen nach den in Kapitel 4 geschilderten Wertkriterien und Methoden durch, so kommt man zu dem Ergebnis, daß:

- 1) die Objektivität der Erstellung der Variablenmeßwerte in Bezug auf die Durchführungs- und Auswertungsobjektivität durchaus befriedigend ist,
- 2) die Reliabilität am besten als Re-Test-Reliabilität zu prüfen ist, mit einer gewissen Zeitspanne zwischen erstem und zweitem Ableitetermin,
- 3) auf die Schätzung der Variablenvalidität nach dem in Kapitel 4 angegebenen Verfahren wird noch später bei der Erörterung der Ergebnisse der Diskriminanzanalyse eingegangen werden.

zu 2)

Da die Verteilungen der Meßwerte der meisten Variablen innerhalb der einzelnen Gruppen durchwegs deutlich von der Normalverteilung abweicht (siehe Tabelle 2.4), mußte ein nichtparametrisches Korrelationsverfahren herangezogen werden. Das adäquate Verfahren ist die Rangkorrelation nach SPEARMAN, das nur stetige Meßwertverteilung mit Rangplatzinformation voraussetzt und in Form des Programms RANG des DRZ angewendet wurde. Der Koeffizient Rho nach SPEARMAN ist dem Koeffizienten nach KENDALL sowohl theoretisch wegen seiner größeren Stärke als auch praktisch

wegen der einfacheren Berechnung vorzuziehen. (ENDERLEIN, 1961).

In Ermangelung von Wiederholungsableitungen bei den meisten Probanden konnte nur an einer relativ kleinen Stichprobe von $N = 24$ Schizophrenen die Re-Test-Reliabilität geprüft werden. In einer zweiten Untersuchung wurde diese Auswahl durch 10 weitere anderweitig gefundene Schizophrenie-Patienten ergänzt ($N = 34$). Die Verteilung der Parameter Alter und Geschlecht war:

	Geschlecht		Alter (Jhr;Monate)	
	weibl.		Mittelwert	Streuung
$N = 24$	24		35;11	8;9
$N = 10$	10		33;11	12;1
$N = 34$	34		35;4	

Das Zeitintervall zwischen den beiden Ableitungen, die selbstverständlich beide vor jeglicher Medikation bzw. nach längerem Absetzen der Medikation durchgeführt wurden, betrug bei einer Spannweite von 0 bis 3 Tagen im Durchschnitt einen Tag.

Die sich in beiden Untersuchungsreihen ergebenden Reliabilitätskoeffizienten für sämtliche 32 Variablen sind unter Angabe des Signifikanzniveaus in Tabelle 3 zu finden. Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß alle Variablen bis auf die Variablen Nr. 22, 23, 24, 25, 26, 27 befriedigende bis gute Reliabilitätskoeffizienten aufweisen in einer Höhe von 0,60 bis 0,89, die bei $N = 34$ sämtlich auf dem 0.001-Niveau signifikant sind, bei $N = 24$ immerhin nur bei 3 Variablen ein geringeres Signifikanzniveau aufweisen (0.01).

Das obige Urteil über die Güte der Reliabilitätskoeffizienten mit "gut" bis "befriedigend" ergibt sich aus einem Vergleich mit der Re-Test-Reliabilität von objektiv und quantitativ gemessenen physiologischen Grössen. Nach WENGER 1948 (zitiert nach FAHRENBURG S.102) ergaben sich z.B. der höchste diesbezügliche Koeffizient bei einem Maß der Speichnelproduktion mit 0.88, der niedrigste bei der Leukocytenzahl mit 0.05. Nach Untersuchungen von FAHRENBURG zeigte die Pulsfrequenz nach einem Intervall von vier Wochen eine Re-Test-Reliabilität mit einem Rangkorrelationskoeffizienten nach SPEARMAN von 0.48 für weibliche und 0.52 für männliche Vpn (S.105).

Es muß noch darauf hingewiesen werden, daß für eine ordnungsgemäße Reliabilitätskontrolle der hier verwendete Stichprobenumfang von $N = 34$ keineswegs ausreichend ist und daß aus der Höhe der Reliabilität der Schizophrenen kein Rückschluß auf die Reliabilität der beiden anderen Gruppen möglich und statthaft ist. Unterschiedliche Reliabilitäts-höhe der einzelnen Gruppen hinsichtlich einzelner oder aller Variablen könnte nämlich direkt als bedeutungsvolles Diskriminanzmerkmal gelten.

Hinsichtlich der übrigen Wertkriterien ist noch zu bemerken, daß

- 1) eine Normierung der Variablen mangels Repräsentativität der Stichproben nicht sinnvoll möglich ist und daß
- 2) die Ökonomie durch voll automatische Kennwertberechnung verbessert werden könnte.

14. Variablenselektion

Aus der Tabelle 3 ist zu erkennen, daß die Variablen 22 - 27 über unbefriedigende Reliabilitätskoeffizienten verfügen. Aufgrund dieses Mangels kommt diesen Variablen demnach ein geringerer Grad der Brauchbarkeit zu. Die Reliabilitätskontrolle stellt also einen ersten Weg zur Variablenselektion dar.

Ein zweiter Weg zur Variablenselektion besteht in der Analyse der Korrelationsmatrix der Variablen (Tabelle 4).

Tabelle 4 zeigt die Rang-Interkorrelationsmatrix aller 32 Variablen bei N = 41 nicht-psychotischen Probanden. Die praktische Durchrechnung wurde ebenfalls mit dem Programm RANG des DRZ durchgeführt.

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, daß die Korrelationen zwischen folgenden Variablen sehr hoch sind, wobei zum Vergleich die entsprechenden Koeffizienten der Interkorrelationsmatrixen der beiden anderen Gruppen mit aufgeführt sind:

Variablen	Gruppe	1	2	3
16 vs. 3		0.96	0.97	0.97
16 " 20		0.99	0.98	0.98
20 " 3		0.96	0.94	0.98
21 " 8		0.92	0.87	0.89
17 " 30		0.96	0.94	0.95

Diese Variablen korrelieren also sehr hoch miteinander, stimmen aber auch in ihren Korrelationen mit den übrigen Variablen stark überein.

Zusammenfassend läßt sich aus beiden Variablenauswahlkriterien folgern, daß die Variablen 22 - 27 aufgrund ihrer mangelhaften Reliabilität zur weiteren Verwendung wenig geeignet sind, die Variablen 16, 17, 20, 21, wegen ihrer äußerst hohen Übereinstimmung mit entsprechenden anderen Variablen überflüssig sind.

Durch die beiden hier angewendeten Variablenselektionsmethoden besteht somit die Möglichkeit der Reduzierung des Variablensatzes von 32 auf 22, ohne dabei an wesentlicher Information einzubüßen. Zu den meisten der folgenden statistischen Operationen wurden jedoch zumindest teilweise auch die als mangelhaft bzw. überflüssig erkannten Variablen hinzugezogen, um auch anhand dieser Verfahren das Urteil über die Brauchbarkeit dieser Variablen durch möglichst viele konvergierende Ergebnisse zu stützen.

15. Analyse der Variablenstruktur

Die statistischen Analysemöglichkeiten des Variablensatzes kann man hinsichtlich ihres Komplexitätsgrades und ihrer Voraussetzungen einteilen in zwei Gruppen:

1) Reliabilitätsprüfung mit dem SPEARMAN'schen Koeffizienten und Rangkorrelationsmatrix sind bivariate, nichtparametrische Verfahren.

2) Zur Untersuchung des komplexen Variablenzusammenhangs dienen die multivariaten parametrischen Methoden der Faktorenanalyse und Clusteranalyse. - Auf die theoretischen Voraussetzungen dieser Verfahren wurde bereits eingegangen. Mit dem Programm LIPR wurden für alle drei Gruppen die Regressionen aller 32 Variablen zu den der Kennwertdeduktion zugrundeliegenden Variablen 1 - 5 auf Linearität geprüft. Das Ergebnis war summarisch:

Regressionen:	N = 41	N = 30	N = 29
linear	63	103	105
quadratisch	45	20	11
kubisch	47	32	39
Gesamtzahl	155	155	155

Es zeigt sich, daß die Regressionen der Streuungsvariablen und der Prozentvariablen mit den Frequenz-entsprechenden Variablen 1 - 5 meist linear, selten quadratisch und nie kubisch waren, die der Variabilitätsvariablen mit den entsprechenden Variablen 1 - 5 jedoch immer kubisch.

Daraus folgt, daß nur mit Einschränkungen von der Erfüllung der theoretischen Voraussetzungen der folgenden statistischen Verfahren gesprochen werden kann, zumal die Datenverteilungen der meisten Verteilungen von der Normalverteilung abweichen (siehe Tabelle 2,4). Infolgedessen sind etwaige Ergebnisse nur als heuristische Arbeitsansätze zu betrachten

A. Faktorenanalyse

Sie wurde an der Gesamtstichprobe von $N = 100$ Probanden durchgeführt und zwar mit dem Programm PAFA Fall 3 und 23 Variablen (ausgeschieden wurden die Variablen 17 und 20 - 27). In Tabelle 5 sind die Ergebnisse dargestellt, nämlich die Ladungen der extrahierten und rotierten 5 Faktoren und deren Spaltenquadratsumme, welche die Varianzanteile der rotierten Faktoren repräsentieren. Die Kommunalitäten der Korrelationsmatrix bewegen sich zwischen 0,82 und 0,99. Die Kommunalitäten der aus den extrahierten unrotierten 5 Faktoren zurückgerechneten Matrix liegen zwischen 0,66 und 0,97 und zeigen somit eine relativ hohe Ausschöpfung der Information aller Variablen durch diese 5 Faktoren an. Die 5 extrahierten Faktoren erfassen insgesamt 91% der Gesamtvarianz.

Die Kommunalitäten der Ausgangs-Korrelationsmatrix lassen hinsichtlich ihrer Höhe (0,82 - 0,99!) zwei Interpretationsaspekte zu:

- 1) daß die Fehlervarianzen sehr geringgradig sind.
- 2) daß die hohe Kovarianz durch meßtechnische (Überlappung der Filterbereiche) und rechnerische (Abhängigkeit der Variablen voneinander infolge ihrer mathematischen Deduktion) Pseudokovarianz zustande gekommen ist.

(Auf die Tatsache, daß die meßtechnisch bzw. rechnerisch bedingte Scheinkovarianz oft nicht genügend berücksichtigt wird, weist FAHRENBURG auf S. 93 und S.195 hin). Von Bedeutung ist eine Kovarianz von Variablen nur insoweit, als sie auf der Kovarianz unabhängig voneinander erfaßter Merkmale beruht.

Beide oben angeführten Interpretationsaspekte sind sicher an der auffälligen Höhe der Korrelationskoeffizienten und der Kommunalitäten beteiligt. Die Ausschaltung der Pseudokovarianz durch Verbesserung der experimentell-technischen Bedingungen (z.B. steilere Filterflanken) und durch mathematische Korrekturverfahren ist anzustreben, beim derzeitigen Stand jedoch noch nicht zu verwirklichen.

Die 5 Faktoren, die mit ihrem prozentualen Varianzanteil aufgeführt sind, können folgendermaßen interpretiert werden:

- F1 (30,0%): als ein Faktor der Polarität von Spannung und Streuung, besonders der Streuung langsamer Frequenzen gegenüber der Variabilität
- F2 (18,4) als ein Streuungsfaktor schneller Frequenzen und als Faktor des Schwerpunktmaßes
- F3 (20,9): als ein Faktor der allgemeinen Polarität der Randfrequenzen des Alpha-Spektrums und der Polarität von Schwerpunkt und Steilheit des Prozentspektrums
- F4 (20,6): als ein fast isolierter Variabilitätsfaktor mit geringer Polarität zur Spannung
- F5 (10,1): als ein Faktor der Polarität von Mittelfrequenz und Randfrequenzen.

Die im Anhang befindliche graphische Darstellung der Faktoren (Abbildung 2;1) dient der Veranschaulichung und erleichtert die Interpretation der Faktoren.

Faktoreninterpretation hinsichtlich ihrer korrespondierenden Graphoelemente:

- F1 repräsentiert a) die durchschnittliche Amplitudenhöhe in allen Frequenzen ("Spannung"), b) die in Amplitudenhöhe und Vorkommenshäufigkeit sehr deutlich schwankenden langsamen Frequenzen ("Streuung"), und c) deren inversen Zusammenhang mit dem visuell schwer abzuschätzenden Verhältnis der Streuung der Spannungsaktivität zur durchschnittlichen Amplitudenhöhe aller Frequenzen ("Variabilität").

Bei Betrachtung eines Beispiels ergibt sich:
Über den ganzen Frequenzbereich niedrig gespannte EEGs

weisen geringe Streuungen in langsamen Frequenzen und in allen Frequenzen hohe Variabilitätskoeffizienten auf.

- F2 repräsentiert den positiven Zusammenhang zwischen dem Grad der Variation der drei schnellen Frequenzen in Bezug auf Amplitudenhöhe und Vorkommenshäufigkeit ("Streuung") und der Betonung bestimmter Frequenzbereiche.

z.B.: Bei in schnellen Frequenzen deutlich streuenden EEGs überwiegt das Vorkommen langsamer Frequenzen.

- F3 repräsentiert den polaren Gegensatz zwischen langsamen und schnellen Frequenzen; sowohl hinsichtlich der durchschnittlichen Amplitudenhöhe ("Spannung"), der Variation der Vorkommenshäufigkeit und Amplitudenhöhe ("Streuung"), der prozentualen Spannungsanteile ("Prozentwerte") als auch entsprechend umgekehrt der Variabilität. Außerdem den negativen Zusammenhang zwischen Schwerpunkt und Steilheit. Dabei ist die Repräsentation langsamer Frequenzen auf diesem Faktor deutlicher als die schnelleren.

z.B.: EEGs mit sehr geringer Spannung und Streuung in langsamen Frequenzen zeigen (gering) höhere Spannung und Streuung in schnellen Frequenzen, hohe Variabilität langsamer Frequenzen und deutliche "Steilheit" mit Bevorzugung schneller Frequenzen.

- F4 repräsentiert den Gegensatz zwischen Variabilität und Spannungshöhe in allen, besonders deutlich in schnellen Frequenzen.

z.B.: EEGs mit relativ niedriger Spannung in allen Frequenzen zeigen relativ hohe Variabilitätskoeffizienten in allen Frequenzen.

- F5 repräsentiert den polaren Gegensatz hinsichtlich der Mittelfrequenz zu den Randfrequenzen zwischen Spannung, Streuung, prozentualen Spannungsanteilen und Variabilität. Dabei ist dieser Gegensatz deutlicher zwischen Mittel- und schneller Randfrequenzen (12,5 Hz).

z.B.: EEGs mit deutlicher Betonung der Mittelfrequenz weisen geringe durchschnittliche Spannungshöhe und Streuung in langsamen und besonders schnellen Frequenzen auf, sowie geringe Variabilität der Mittelfrequenz und relativ hohe Variabilität in schnellen Frequenzen.

Es ist besonders aus den Faktoren 3 und 5 ersichtlich, daß die Faktoren zu einem gewissen Teil die Pseudokovarianz von Variablen repräsentieren, die aufgrund der Deduktion und meßtechnischen Abhängigkeit der Variablen zustandekommt.

Sehr deutlich ist der Einfluß der Pseudokovarianz an der herausragenden Höhe der Prozentvariablenladungen zu ersehen. Es ist durch den Berechnungsweg der Prozentwerte, die sich ja über alle Frequenzen zu 100 Prozent addieren, als selbstverständlich zu bezeichnen, wenn eine geringe prozentuale Spannungsausprägung langsamer Frequenzen mit einer umso höheren prozentualen Spannungsausprägung schneller Frequenzen einhergeht.

Die spezifische Modifikation der Faktoren 3 und 5 und der Zusammenhang zwischen Spannungs-, Streuungs-, Prozent- und Variabilitäts-Spektren dieser Faktoren geben jedoch weitergehende Informationen, die **n i c h t n u r** durch die oben geschilderten Möglichkeiten der Pseudokovarianz erklärlich sind.

Die Frage, inwieweit die gefundenen Dimensionen mit psychologischen bzw. psychopathologischen Dimensionen (Konstrukten!) zusammenhängen, beziehungsweise diese repräsentieren, die Grundfrage der Anwendung der Faktorenanalyse! ist auf diesem Stand der Forschung nicht zu entscheiden. Unter Berücksichtigung der oben geschilderten methodischen Situation erübrigt sich auch vorläufig ihre Beantwortung.

B Die Clusteranalyse

Wegen ihrer geringen Ergiebigkeit bei früheren Untersuchungen und wegen der noch nicht einwandfreien Programmierung wurde die Clusteranalyse an dem hier vorliegenden Material nicht durchgeführt.

Mit dem Programm CLUS wurden bei einer anderen Stichprobe, die neben den hier verwendeten Vpn noch weitere 31 Begutachtungsfälle und die schon bei der Reliabilitätskontrolle erwähnten 10 Schizophrenen und weitere 10 Schizophrenen enthielt bei Anwendung mehrerer Kriterien jeweils sehr deutlich übereinstimmende Ergebnisse gefunden:

Cluster 1: Variable 4 ; 5

Cluster 2: Variable 1 ; 2 ; 3 - 6; 7 - 11; 12 - 14; 15 - 16 -
19 - 24 - 28; 29; 30; 31; 32

Cluster 3: Variable 8; 9; 10 - 13 - 18 - 22; 23 - 26 - 27 -
nicht einzuordnen: Variable 25

Die Variablen 17, 20, 21 waren nicht im Untersuchungsmaterial enthalten.

Interpretation (ohne Berücksichtigung der nicht in der Faktorenanalyse verwendeten Variablen und unter Berücksichtigung der Koeffizientenvorzeichen der Ranginterkorrelationsmatrix N=151):

Cluster 1 repräsentiert den Zusammenhang zwischen der Spannungshöhe schneller Frequenzen.

Cluster 2 den Zusammenhang der Spannungs-, Streuungs- und Prozentvariablen langsamer Frequenzen und der allgemeinen Spannungshöhe ("Spannungssumme") des Spektrums und das polare Verhältnis dieser Variablen zur Steilheit, den Prozentwerten schneller Frequenzen und zur Variabilität aller Frequenzen.

Cluster 3 den Zusammenhang zwischen Streuung schneller Frequenzen, der Schwerpunktvariable und der Prozentvariablen der Mittelfrequenz.

Bei vergleichender Betrachtung der Ergebnisse von Cluster- und Faktoren-Analyse ergibt sich:

Cluster 2 entspricht Faktor 3 und 4, d.h. die in Cluster 2 enthaltenen Variablen sind vornehmlich in die Projektionsebene von Faktor 3 und 4 lokalisiert.

Cluster 3 entspricht Faktor 2 und 5

Cluster 1 entspricht Faktor 1, jedoch nur insoweit, als die Variablen 4 und 5 des Clusters 1 diejenigen Variablen des Faktors 1 sind, die die geringsten Ladungen auf anderen Faktoren aufweisen.

Die Tatsache, daß die Variable 25 ("Exzessvariable 12,5") nicht eingeordnet werden kann, zeigt als Teilergebnis die eventuelle Brauchbarkeit der Clusteranalyse zur Variablen-selektion. Diese Variable 25 war auch in den beiden bisher angewendeten Verfahren der Variablenselektion als unbrauchbar erkannt worden.

Der hier durchgeführte Vergleich von Ergebnissen der Clusteranalyse mit denen der Faktorenanalyse müßte natürlich an gleichen Stichproben erfolgen. Da die Faktorenstruktur der Gruppe $N = 151$, bei der die Clusteranalyse durchgeführt wurde, jedoch der Faktorenstruktur der hier vorliegenden Gesamtstichprobe von $N = 100$ sehr ähnlich ist, dürfte der Vergleich auch in dieser Form gestattet sein.

Aus der in dieser Form durchgeführten Clusteranalyse geht nicht ohne Zuhilfenahme der Korrelationsmatrix hervor,

ob die Variablen eines Clusters in einem gleich oder gegensinnigen Verhältnis zueinander stehen, da der absolute Betrag des Korrelationskoeffizienten die Grundlage für die Clusterbildung ist. Eine Clusteranalyse, bei der man die negativen Korrelationen der Matrix dadurch beseitigt, daß man zu allen Koeffizienten 1 addiert, würde zu Clustern führen, die sich nur aus dem Grad der positiven Kovarianz der Variablen ergeben, eine Modifikation, die von BENTE und SIEGORDNER inzwischen im Rahmen anderer Fragestellungen mit Erfolg angewandt wurde.

16. Anwendung statistischer Verfahren zur Differenzierung der Gruppen

16.1 Feststellung quantitativer Gruppenunterschiede

Aus den in Tabelle 2 angegebenen Gruppenmittelwerten und Standardabweichungen der 32 Variablen aller 3 Gruppen ergeben sich die in Tabelle 6 dargelegten Rangordnungen der Gruppen hinsichtlich der Variablenausprägung und der Standardabweichung der Variablen-Gruppenmittelwerte. Es sind nur die zur Faktorenanalyse herangezogenen 23 Variablen aufgeführt. Dabei gibt die erste Spalte die Rangreihe der durchschnittlichen Variablenausprägung in den Gruppen an, die zweite sozusagen die Homogenität bzw. Heterogenität der Gruppen hinsichtlich der Variablenausprägung.

a) Die kennzeichnenden Gruppenmerkmale aufgrund dieser Rangordnung sind:

1) die Normalgruppe (N) zeigt die geringste Spannung in allen Frequenzen (besonders deutlich in den langsamen Frequenzen), geringste Streuung in langsamen Frequenzen, relativ zu den anderen Gruppen die niedrigsten Prozentwerte in den Frequenzen 8,5 und 9,4, die relativ höchsten Prozentwerte in den Frequenzen 10,3 und 11,4. Außerdem zeigt diese Gruppe: höchste Variabilität in der langsamen und schnellen Randfrequenz und den niedrigen Schwerpunktswert, d.h. stärkste prozentuale Betonung schneller Frequenzen.

2) Die Schizophrenie-Gruppe (S) weist die stärkste Streuung in den 3 schnellen Frequenzen auf, sowie relativ niedrige Prozentwerte in 10,3 und hohe in 12,5; außerdem höchste Variabilität in den drei Mittelfrequenzen und größte Steilheit des Prozentspektrums, d.h. relativ stärkste Konzentration der Spannungsproduktion auf wenige Frequenzen.

3) Die Gruppe der Depressionen (D) zeigt die höchste Spannung in allen Frequenzen, besonders in 8,5 bis 10,3, die größte Streuung in den langsamen Frequenzen und geringste Streuung in den Frequenzen 10,3 bis 12,5, sowie relativ zu den anderen Gruppen höhere Prozentwerte in den langsamen und geringere in den schnellen Frequenzen: außerdem geringste Variabilität in allen Frequenzen (sehr deutlich!) größten

Schwerpunktwert, d.h. stark prozentuale Betonung langsamer Frequenzen und niedrigsten Steilheitswert, d.h. die Aktivität ist ziemlich gleichmäßig auf alle Frequenzen verteilt.

b) Schilderung dieser Kennzeichen hinsichtlich des EEG-Bildes:

- 1) Die N-Gruppe zeigt eher niedrig gespannte EEGs mit deutlicher Bevorzugung schneller Frequenzen, geringste Aktivitätsschwankungen in den langsamen Frequenzen.
- 2) Die S-Gruppe zeigt EEGs, die auffällige Aktivitätsschwankungen in den schnellen Frequenzen aufweisen; Konzentration der Aktivität auf einen relativ engen Frequenzbereich schneller Frequenzen. Jedoch ist die S-Gruppe hinsichtlich dieses Verhaltens, wie im folgenden noch ausgeführt wird, sehr heterogen.
- 3) Die D-Gruppe zeigt eher hochgespannte EEGs mit verhältnismäßig stärkerer Beteiligung langsamer Frequenzen an der Gesamtaktivität, somit also ein gleichmäßigeres Vorkommen von Wellen aller Frequenzen; außerdem die relativ größten Aktivitätsschwankungen im Bereich langsamer Frequenzen im Gegensatz zu den schnellen Frequenzen, wo diese Aktivitätsschwankungen vergleichsweise gering sind.

Hinsichtlich der Variabilität in den 3 Gruppen, die sich nicht direkt in den Graphoelementen des EEGs ausdrücken, wäre festzustellen, daß die D-Gruppe r e l a t i v zu ihrer Spannungshöhe geringe Aktivitätsschwankungen aufweist, während die N-Gruppe in den Randfrequenzen und die S-Gruppe in den 3 Mittelfrequenzen im Verhältnis zu ihrer Spannungshöhe überproportionale Spannungsschwankungen zeigt.

c) Systematische Ordnung der kennzeichnenden Gruppenunterschiede:

Aus den Rangordnungsreihen der Tab. 6 lassen sich folgende

6 Kombinationsmöglichkeiten von Gruppenunterschieden ersehen:

- | | |
|---------------|---------------|
| a) N größer S | d) S größer N |
| b) N " D | e) D " N |
| c) S " D | f) D " S |

Zur Systematik der einzelnen Unterschiede empfiehlt sich folgendes Schema:

Nummer der Variablen und Buchstabe der Kombinationsmöglichkeit.

' Dann stellen sich die Gruppenunterschiede der Tab. 6

folgendermaßen dar:

1) f.d.e.	6) f.d.e.	11) f.d.e.	16) f.d.e.	28) a.c.b.
2) "	7) "	12) "		29) d.b.c.
3) "	8) d.b.c.	13) b.f.a.	18) f.d.c.	30) "
4) "	9) "	14) a.c.b.		31) "
5) "	10) "	15) d.b.c.	19) d. b.c	32) a.c.b.

Bei der Überprüfung dieser 69 festgestellten Unterschiede auf Signifikanz soll die hier gegebene systematische Bezeichnung beibehalten werden.

Eine graphische Darstellung der Gruppenunterschiede bei diesen 23 Variablen gibt Abbildung 2.

d) Homogenität bzw. Heterogenität der Gruppen hinsichtlich der Variablenausprägung (Tab. 6, Spalte 2):

1) N zeigt die relativ deutlichste Homogenität hinsichtlich Spannung, Streuung, langsamer Frequenzen, Prozentwert 8,5. Relativ deutlichste Heterogenität hinsichtlich Prozentwert 12,5 und Variabilität 12,5.

2) S zeigt relativ deutlichste Homogenität nur hinsichtlich der Variabilität 8,5, relativ deutlichste Heterogenität hinsichtlich Spannung aller Frequenzen, Streuung schneller Frequenzen, Prozentwerte 8,5 bis 11,4, Variabilität der drei Mittelfrequenzen, des Schwerpunkts- und Steilheitsmasses.

3) D zeigt relativ deutlichste Homogenität hinsichtlich der Streuung 10,3 bis 12,5, der Prozentwerte und Variabilität 9,4 bis 12,5 und des Schwerpunkts- und Steilheitsmasses. Deutlichste Heterogenität hinsichtlich Streuung 8,5 und 9,4 und der Variabilität 8,5.

Die S-Gruppe zeigt demnach fast durchgehend ein deutlich heterogenes Verhalten, die N-Gruppe und besonders die D-Gruppe hingegen ein relativ homogenes Verhalten.

16.2 Prüfung der Gruppenunterschiede auf Signifikanz

Wie in Kapitel 7.1 geschildert, lassen sich die zur Differenzierung der Gruppen indizierten statistischen Verfahren einteilen in parametrische und nichtparametrische.

Auf die Vor- und Nachteile der Verfahren in Bezug auf die beiden wichtigsten Punkte, nämlich ihre theoretische Anwendbarkeit und ihren Aussagewert, die zueinander in einem fast reziproken Verhältnis stehen, wurde bereits eingegangen.

Zur Überprüfung von Gruppenunterschieden hinsichtlich jeweils einer Variablen auf Signifikanz sind die nichtparametrischen Verfahren adäquat.

Die Aufdeckung von Unterschieden hinsichtlich der komplexen Variablenstruktur ist nur mit den einschlägigen parametrischen Verfahren möglich.

16.3 Nichtparametrische Verfahren

Der KRUSKAL-WALLIS-Test gab mit der Höhe des H-Wertes der jeweiligen Variablen ein Maß für das Vorhandensein von Unterschieden zwischen den 3 Gruppen hinsichtlich ihrer zentralen Tendenz. Welche und ob nur eine oder mehrere der drei möglichen Unterschiedskombinationen zwischen den drei Gruppen jedoch signifikant waren, konnte anhand dieses summarischen Testverfahrens nicht ermittelt werden. Der Test eignet sich also nur dazu, das Vorhandensein irgendeines Unterschiedes zwischen den Gruppen anzuzeigen.

Die gesuchten Unterschiede zwischen je zwei Gruppen konnten exakt durch den MANN-WHITNEY-Test erfaßt werden,

der jedoch erhebliche Anforderungen an die Aufarbeitung des Datenmaterials in Lochkarten stellt, sodaß die statistische Analyse nur auf die nach den Ergebnissen des KRUSKAL-WALLIS-Tests erfolgversprechendsten Variablen beschränkt bleiben mußte. Die erhaltenen U-Werte zeigt Tab. 7. Die wesentlichsten Ergebnisse sind unter Angabe des Signifikanz-Niveaus und der Unterschiedsrichtung in Abbildung 4 übersichtlich zusammengestellt.

Von insgesamt mit dem MANN-WHITNEY-Test untersuchten 18 Variablen (1-5; 11-15; 16, 18, 19; 28-32) zeigten also 12 signifikante Unterschiede zwischen mindestens zwei Gruppen.

Nach der Systematik der Gruppenunterschiede sind demnach mindestens 5%-signifikant:

11)e. 12)e. 13)b.a. 14)b. 18)e. 19)b.c. 28)b.c.
29)b. 30)b.c. 31)b.c. 32)b.c. 1)e.

D.h. von den 69 Unterschiedskombinationen sind 18 auf dem 5%-Signifikanzniveau gesichert. In diesem Zusammenhang sei auf einen bedeutsamen Zusammenhang hingewiesen, nämlich daß "aller Wahrscheinlichkeit nach... immer einige pseudosignifikante Koeffizienten zu erwarten sind, wenn eine Vielzahl von Variablen untersucht wird". (FAHRENBERG S.195). Hier wäre bei dem Signifikanzniveau von 5% und 18 untersuchten Variablen bzw. $3 \times 18 = 54$ Unterschiedskombinationen immerhin mit zwei pseudosignifikanten Unterschieden zu rechnen.

Interpretation der signifikanten Ergebnisse:

(5% = schwach signifikant; 1% = signifikant; 0,1% = sehr signifikant).

- 1) Die Gruppe der periodischen Depressionen zeigt sehr (8,5) bzw. schwach (9,4) signifikant höhere Prozentwerte langsamer Frequenzen als die "Normalgruppe". Dieser Sachverhalt ist in Frequenz 8,5 auch, aber auch nur dort, schwach signifikant an den Spannungswerten feststellbar. Jedoch zeigen die Depressionen schwach (10,3) bzw. sehr (11,4) signifikant geringere Prozentwerte als die Normalgruppe in den schnellen Frequenzen. Die Schizophrenie-Gruppe liegt hinsichtlich ihrer Prozentwerte zwischen den beiden anderen Gruppen mit Ausnahme der Mittelfrequenz 10,3, wo sie den geringsten Wert aufweist und schwach signifikant unter der Normalgruppe liegt.
- 2) Die Variabilitätswerte der D-Gruppe sind in allen Frequenzen zumindest schwach signifikant kleiner als die der Normalgruppe und Schizophrenen.
- 3) Aus dem Steilheitsmaß geht hervor, daß die Gruppe der Depressionen sehr signifikant flachere Spektren zeigt als die relativ ähnlichen Gruppen der Normalen und Schizophrenen.
- 4) Die D-Gruppe zeigt einen schwach signifikant nach der Seite der langsamen Frequenzen verschobenen Schwerpunkt gegenüber der Normalgruppe. Das entspricht dem Ergebnis unter 1).

16.4 Parametrische Verfahren

16.4.1 Faktorenanalyse

Die Faktorenanalysen der drei Gruppen wurden nach Fall 3 mit dem Programm PAFA berechnet, ebenfalls mit 23 Variablen. Die Ladungszahlen der drei Analysen sind in den Tabellen 5.2 - 5.4 aufgeführt. Extrahiert und rotiert wurden jeweils 5 Faktoren, die folgende Varianz abdecken:

N = 41: 94%

N = 30: 92%

N = 29: 92%

Die Interpretation dieser Faktoren ist im wesentlichen die gleiche wie bei der Gesamtgruppe. Zur Feststellung von gruppenspezifischen Differenzen in der Faktorenstruktur wurden visuelle Vergleiche anhand der Abbildungen 2.2 - 2.4 durchgeführt. Die sich bei diesem Vergleich entsprechenden Faktoren und ihre Varianzanteile (Spaltenquadratsummen) zeigt Tabelle 5.5. Alle 3 Gruppen weisen überwiegend sehr ähnliche Faktorenstrukturen auf, was die Zuordnung der Faktoren einfach gestaltete. Die Faktoren werden im folgenden nach der bei der S-Gruppe (N = 30) erhaltenen Lösung geordnet, da diese in ihrer Faktorenstruktur und Numerierung mit der Gesamtgruppe sehr deutlich übereinstimmt.

Die Faktoren 1, 3 und 5 dienten wegen ihrer leicht erkennbaren Übereinstimmung als "pilot factors" des Vergleichs. Die Zuordnung der jeweiligen Faktoren 2 und 4, deren Übereinstimmung weniger deutlich ist, wurde nach dem

Grad der Ähnlichkeit hinsichtlich der höchst ladenden

Variablen vorgenommen. Dabei ergab sich folgendes Bild:

a) Die Gruppe der Schizophrenen zeigt einen herausfallenden Faktor 2, wohingegen die Normalgruppe und die Depressionen hinsichtlich dieses Faktors gute Übereinstimmung zeigen.

b) Die Gruppe der Depressionen zeigt einen abweichenden Faktor 4, wohingegen Normalgruppe und Schizophrene hinsichtlich dieses Faktors gut übereinstimmen.

Die wesentlichen Unterschiede in der Faktorenstruktur der drei Gruppen sind in der folgenden kurzen Charakterisierung der einzelnen Faktoren unterstrichen. Die Schilderung der Faktoren geschieht der Einfachheit halber an einem EEG-Beispiel, an dem die durch die Faktoren repräsentierten Variablenrelationen exemplarisch geschildert werden sollen.

F1 Bei der Schizophrenie-Gruppe (S) ist folgender Zusammenhang erkennbar:
Eine allgemeine Spannungszunahme geht mit einer deutlichen Erhöhung der Streuung langsamer Frequenzen und allgemeiner Verringerung der Variabilität im EEG einher. Der prozentuale Aktivitätsanteil der Frequenzen 9,4 und 10,3 steigt, der der Frequenz 12,5 sinkt, wodurch das Spektrum flacher wird, d.h. eine stärkere Gleichverteilung der Aktivität auf den gesamten Frequenzbereich eintritt.

Bei der Normalgruppe (N):

Eine allgemeine Spannungszunahme geht mit einer geringeren (relativ zu S) allgemeinen Erhöhung der Streuung, besonders aber der langsamer Frequenzen einher. Es kommt zu einer allgemeinen Verringerung der Variabilität und zu einer Zunahme des prozentualen Aktivitätsanteils der Frequenzen 8,5 bis 10,3 und zu einer Abnahme derselben bei den Frequenzen 11,4 und 12,5, was zu einer stärkeren Gleichverteilung der Aktivität auf den gesamten Frequenzbereich (Abnahme der "Steilheit") führt.

Bei der Gruppe der Depressionen (D):

Eine allgemeine Spannungszunahme geht mit einer geringen Steigerung der Streuung im gesamten, besonders im mittleren Frequenzbereich einher. Die Variabilität sinkt allgemein, besonders deutlich in den langsamen Frequenzen. Hinsichtlich der Steilheit und des Schwerpunktes ergeben sich hier bei Spannungszunahme keine Veränderungen.

F3 Bei der S-Gruppe:

Verringerung der Spannungsproduktion in den langsamen

Frequenzen geht mit einer fast gleich großen Zunahme der Spannungsproduktion in den schnellen Frequenzen einher, sodaß die gesamte Spannungsproduktion gleich bleibt. Das Spektrum verschiebt sich hinsichtlich seines "Schwerpunktes" leicht nach rechts. Außerdem kommt es zu einer deutlichen Verringerung der Streuung und Zunahme der Variabilität nur in den langsamen Frequenzen und zu einer stärkeren Steilheit des Spektrums, d.h. zu deutlicherer Konzentration der Aktivität auf einen relativ engen Bereich besonders schneller Frequenzen.

Bei der N-Gruppe:

Eine Verringerung der Spannungsproduktion in den langsamen Frequenzen geht ohne entsprechende Steigerung der Aktivität in den schnellen Frequenzen einher, stellt also eine allgemeine Spannungsminderung dar. Das Spektrum wird hinsichtlich seines Schwerpunktes deutlich nach rechts verschoben. Außerdem kommt es zu einer starken Verringerung der Streuung und zum Ansteigen der Variabilität nur in den langsamen Frequenzen sowie zu einem Anstieg der Steilheit.

Bei der D-Gruppe:

Eine Verringerung der Spannungsproduktion in den langsamen Frequenzen geht nur mit einer sehr geringen Steigerung der Aktivität in schnellen Frequenzen einher, sodaß insgesamt eine Spannungsminderung feststellbar ist. Das Spektrum verschiebt sich deutlich nach rechts, d.h. Bevorzugung schneller Frequenzen. Außerdem kommt es zu einer starken Verringerung der Streuung in den langsamen Frequenzen mit fast ebenso deutlichem Ansteigen der Streuung in den schnellen Frequenzen und zur Steigerung der Variabilität in den langsamen Frequenzen. Die Steilheit des Spektrums wächst dabei relativ zu den beiden anderen Gruppen gering.

F5 Bei der S-Gruppe:

Verringerung der Spannungsproduktion besonders in der Mittelfrequenz 10,3, weniger in den langsamen Frequenzen, geht mit einem geringen Anstieg der Aktivität in der Frequenz 12,5 einher; so kommt es insgesamt zu einer geringfügigen Spannungsminderung, aber zu keiner Verschiebung des Schwerpunktes. Außerdem kommt es zu einer Verringerung der Streuung in den langsamen und zu einer Steigerung in den schnellen Frequenzen sowie zu einem Anstieg der Variabilität im mittleren Frequenzbereich. Die Steilheit des Spektrums wächst, d.h. die Aktivität konzentriert sich auf einige wenige Frequenzen.

Bei der N-Gruppe:

Verringerung der Spannungsproduktion besonders in der Mittelfrequenz geht mit einer geringfügigen Aktivitätssteigerung in der Frequenz 12,5 einher; es kommt zu einer geringen Spannungsverminderung insgesamt und zu einer deutlichen Verschiebung des Schwerpunktes mit Betonung schneller Frequenzen. Außerdem sinkt die Streuung

der Mittel- und wächst die Streuung der schnelleren Frequenzen. Die Variabilität des mittleren Frequenzbereichs steigt. Die Steilheit des Spektrums nimmt zu.

Bei der D-Gruppe:

Verringerung der Spannungsproduktion im mittleren Frequenzbereich geht mit einem geringen Anstieg der Spannung in den Randfrequenzen (8,5; 12,5) einher, wobei insgesamt eine Spannungsminderung eintritt. Der Schwerpunkt ist geringfügig zu den schnellen Frequenzen verschoben. Außerdem kommt es zum Absinken der Streuung in der Mittelfrequenz und zum Anstieg der Streuung in den Randfrequenzen sowie zu einem geringen Anwachsen der Variabilität langsamer Frequenzen. Eine Veränderung der Steilheit ist kaum feststellbar.

F4 Bei der S-Gruppe:

Geringe Erhöhung der allgemeinen Spannungsproduktion geht mit deutlicher Erniedrigung der Variabilität in allen Frequenzen einher. Außerdem leichte Erhöhung der Streuung, Zunahme der prozentualen Aktivität der Frequenzen 9,4 und 10,3 und Verringerung der prozentualen Aktivität in den Randfrequenzen (8,5; 12,5) sowie geringfügige Abflachung des Spektrums. ~~Bei~~

Bei der N-Gruppe:

Geringe Erhöhung der Allgemeinen Spannungsproduktion, besonders in den schnellen Frequenzen, geht mit deutlicher Erniedrigung der Variabilität in allen, besonders in schnellen Frequenzen einher. Außerdem geringe allgemeine Erhöhung der Streuung sowie schwache Zunahme der prozentualen Aktivität langsamer und mittlerer Frequenzen und geringe Verminderung der prozentualen Aktivität schneller Frequenzen. Geringfügige Abflachung des Spektrums.

Bei der D-Gruppe:

Während also die S- und N-Gruppe hier weitgehend übereinstimmen, zeigt die D-Gruppe deutliche Abweichungen. Der Faktor wurde jedoch mit den beiden Faktoren 4 der anderen Gruppen verglichen, weil seine auffälligsten Ladungen ebenfalls im Variabilitätsspektrum liegen.

Steigerung der prozentualen Aktivität in den langsamen und mittleren Frequenzen geht mit einer Verminderung der prozentualen Aktivität in den schnellen Frequenzen einher. Außerdem deutliche Verringerung der Variabilität im gesamten Frequenzbereich, besonders in den langsamen und mittleren Frequenzen, sowie Bevorzugung langsamer Frequenzen (Schwerpunkt) und sehr deutliche Abflachung des Spektrums (Steilheit).

Da dieser Faktor so kennzeichnend für die D-Gruppe zu sein scheint, sei hier der wesentlichste Unterschied nochmals herausgestellt:

Die EEGs der D-Gruppe zeichnen sich gegenüber denjenigen der N- und S-Gruppe dadurch aus, daß die prozentuale Aktivitätsverteilung im Spektrum in Zusammenhang mit der Variabilität steht und dieser Sachverhalt unabhängig von der allgemeinen Höhe der Spannung und Streuung ist.

z.B.: handelt es sich um ein langsame Frequenzen bevorzugendes EEG, so ist unabhängig von der allgemeinen Spannungshöhe die Variabilität (besonders in 8,5 und 9,4) niedrig und das Spektrum flach.

F2 Bei der N-Gruppe:

Abnahme der Spannung in allen, besonders in schnellen Frequenzen geht mit einer sehr starken Abnahme der Streuung in allen, besonders den schnellen Frequenzen einher. Außerdem geringfügige Erhöhung der Variabilität aller, besonders der langsamen Frequenzen.

Bei der D-Gruppe:

Wie bei der N-Gruppe, nur daß alle Frequenzen ziemlich gleichmäßig beteiligt sind.

Bei der S-Gruppe:

Die S-Gruppe zeigt einen sehr abweichenden Faktor 2, der jedoch deshalb mit den Faktoren 2 der beiden anderen Gruppen verglichen wurde, weil seine höchsten Ladungen ebenfalls auf die Variablen 8 - 10 entfallen.

Sehr starke Erniedrigung der Streuung in den schnellen Frequenzen geht mit geringer Erhöhung der Streuung in den langsamen Frequenzen und einer Zunahme der prozentualen Aktivität und der Variabilität in den Frequenzen 9,4 bis 12,5 einher, wobei das Spektrum deutlich zu den schnellen Frequenzen verschoben wird (Schwerpunkt) und eine Abflachung eintritt (Steilheit).

Anders ausgedrückt:

Die S-Gruppe unterscheidet sich von den beiden anderen Gruppen kennzeichnend dadurch, daß die Höhe der Streuung schneller Frequenzen deutlich mit dem Grad der prozentualen Betonung schneller Frequenzen und, weniger deutlich, der Variabilität schneller Frequenzen sowie dem Steilheitsmaß in Zusammenhang steht und zwar unabhängig von der allgemeinen Spannungshöhe.

Es sei darauf hingewiesen, daß alle Faktoren als polar strukturiert angesehen werden können und daß keinerlei sachliche oder logische Einwände gegen diese Annahme stehen. D.h., daß beispielsweise der Faktor 1 sowohl als Faktor des Zusammenhanges geringer Spannungshöhe mit hoher Variabilität als auch des Zusammenhanges hoher Spannung mit geringer Variabilität anzusehen ist.

Vergleicht man den Faktor 2 der S-Gruppe mit dem in Tabelle 6 zusammengestellten Rangreihen der Gruppenmittelwerte, so ergibt sich eine auffällige Übereinstimmung: Diejenigen Variablen, die ihre relativ größten Gruppenmittelwerte in der S-Gruppe haben, zeigen in diesem Faktor 2 auch durchwegs ihre höchsten Ladungen.

Die sich aus Tabelle 6 ergebenden Kennzeichen der D-Gruppe, nämlich prozentuale Betonung langsamer und geringer Betonung schneller Frequenzen, niedrige Variabilität, Linksverschiebung des Schwerpunktes und geringe Steilheit, werden in ihren Relationen zueinander in Faktor 4 der D-Gruppe deutlich repräsentiert.

Es sind also vor allem die Faktoren 4 und 2, die die Unterschiedlichkeit der Variablenrelationen der drei Gruppen darstellen. Projiziert man die Variablen anhand ihrer Ladungszahlen in diese Faktorebene $2/4$, so kann man die drei Gruppen gleichzeitig in Bezug auf diese beiden Faktoren vergleichen. Eine graphische Darstellung dieses Faktorebenen-Vergleichs findet sich im Anhang in Abbildung 3.

Um keine Pseudo-, beispielsweise Symmetrie-Unterschiede vorzutäuschen, wurden die zu vergleichenden Faktoren in optimale Übereinstimmung gebracht, d.h. die Ladungen eines Faktors wurden in ihrem Vorzeichen geändert, wenn dieser Faktor zum Vergleichsfaktor spiegelsymmetrisch war.

Wie aus einem Vergleich der drei Faktorebenen zu ersehen ist, scheinen die in Tabelle 6 aufgeführten Mittelwertunterschiede der drei Gruppen, die mit dem MANN-WHITNEY-Test

auf Signifikanz geprüft wurden, nicht nur rein quantitativ, gradueller Art zu sein. Vielmehr bestehen zwischen den Gruppen auch kennzeichnende Unterschiede der Variablenrelationen.

16.4.2. Diskriminanzanalyse

Mit den drei Gruppen wurden Diskriminanzanalysen einmal mit 7 und einmal mit 23 Variablen durchgeführt. Die 7 Variablen waren die Variabilitätskoeffizienten der fünf Frequenzen sowie das Schwerpunkts- und Steilheitsmaß des Spektrums.

Die 23 Variablen sind die gleichen wie die bei der Faktorenanalyse verwendeten. Die Abbildung 5 des Anhanges gibt eine Übersicht über die Ergebnisse.

Ebenso vermittelt sie einen anschaulichen Eindruck von der Zunahme der Zuordnungswahrscheinlichkeiten zur Eigengruppe bzw. Abnahme der Zuordnungswahrscheinlichkeiten zu den Fremdgruppen bei der Verwendung von 23 anstelle von nur 7 Variablen.

Auch die Diskriminanzanalyse ohne Frequenzvariablen ($N = 7$) zeigt demnach bereits einen beachtlichen Prozentsatz der Zuordnung zur Eigengruppe bei noch relativ geringerer Höhe der Zuordnungswahrscheinlichkeiten. Dieses Ergebnis weist ebenso wie das des MANN-WHITNEY-Tests darauf hin, daß die Variabilitätsmaße als stark diskriminierend angesehen werden können und, nach der Faktorenanalyse zu schließen, eine weitgehend selbständige Merkmalsdimension repräsentieren.

Bei 23 Variablen steigert sich sowohl durchwegs der Prozentsatz "richtiger" Zuordnungen als auch die Zuordnungswahrscheinlichkeit eines Individuums, d.h. die "Zuordnungssicherheit" zu irgendeiner Gruppe.

In beiden Fällen ergeben sich signifikante Distanzen der Gruppenmittelwertsvektoren auf einem Signifikanzniveau von 1 bzw. 0.1 % (D^2 Mahalanobis).

D^2 (7) bei 14 Freiheitsgraden $\chi^2 = 30.702$ (1% = 29.141)

D^2 (23) bei 46 Freiheitsgraden $\chi^2 = 108.133$ (0.1% = 81.400)

Bei den 23 Variablen ist die Zuordnung von annähernd 2/3 aller Angehörigen einer Gruppe zur Eigengruppe bei einer Zuordnungswahrscheinlichkeit zwischen 0.66 - 0.85 als günstig zu bezeichnen.

17. Prüfung der Ergebnisse auf die Erfüllung der Wertkriterien

Hinsichtlich der in Kapitel 8 geschilderten Aspekte ist eine Prüfung der Ergebnisse der statistischen Auswertung und deren Interpretation erforderlich:

1) Die Interpretationsobjektivität ist bei Ergebnissen mit Signifikanzangabe und Angabe der Unterschiedsrichtung, wie etwa beim MANN-WHITNEY-Test, als sehr gut zu bezeichnen. Bei der Faktorenanalyse ist die Interpretation jedoch weitgehend vom Einfühlungsvermögen des Beurteilers abhängig. Dieser Mangel könnte durch die Anwendung quantitativer Ähnlichkeitsmessungen, beispielsweise mit dem Programm FAST verringert werden.

2) Um die in Kapitel 8 dargelegte Feststellung, daß die Stabilität der Struktur die Stabilität ihrer Elemente, d.h. Variablen übersteigt, zu prüfen, wäre ein Vergleich der Faktorenstrukturen ein- und derselben Gruppe bei verschiedenen Ableitungen mit dem Programm FAST durchzuführen. Man würde so einen exakten Ähnlichkeitskoeffizienten erhalten, der als Maß für die Reliabilität der Faktorenstruktur gelten könnte.

Ebenso ließe sich in einem Re-Test-Verfahren eine zweite Diskriminanzanalyse durchführen. Der Grad der Übereinstimmung beider Diskriminanzanalysen-Ergebnisse wäre ein Maß für die Stabilität der Diskriminanzfähigkeit des Variablensatzes.

3) Hinsichtlich des Ziels dieser Untersuchung, der Feststellung von Gruppenunterschieden, ist die Diskriminanzanalyse als Validierungsversuch anzusehen, unter der Annahme, daß die psychiatrische Diagnose ein hoch reliables und zulängliches Validitätskriterium ist.

Bei der Berechnung des Kontingenz-Koeffizienten, sozusagen als "Validitätskoeffizient" (LIENERT, 1962, S.185) aus der absoluten Zuordnungshäufigkeit der Diskriminanzanalyse ergibt sich ein $CC = 0.57$, das bei einem $\chi^2 = 48.4$ und 4 Freiheitsgraden auf dem 0.1%-Niveau signifikant ist. Dies ist als eine durchaus befriedigend hohe Validität eines Verfahrens zur Gruppendifferenzierung anzusehen. Für eine Individualdifferenzierung, die als Endziel anzustreben ist, ist hingegen (LIENERT 1967, S.310) mindestens ein $r_{tc} = 0.7$ zu fordern.

Zu der Frage der Validität einzelner Variabler ergibt sich folgendes: Ohne Verwendung der Frequenzvariablen, also bei 7 Variablen, ist $CC = 0.42$. Die Hinzunahme der übrigen Variablen ergibt also eine Validitätserhöhung um 0.15. Auf diesem Wege, nämlich durch Aussonderung einzelner Variablen und Feststellung der dadurch verursachten Validitätsminderung gleich geringerer Diskriminanzfähigkeit läßt sich die Variablen-Validität indirekt abschätzen. Genau bestimmbar wäre der Diskriminanzbeitrag jeder Variablen mit der schrittweisen Diskriminanzanalyse.

1 Beschränkt man sich bei der Interpretation des Ergebnisses der Diskriminanzanalyse darauf, daß ihr Ziel nur der Versuch der Trennung visuell-morphologisch in den "Normalbereich" fallender EEGs ist, so folgt daraus: Es ist mit Hilfe der Diskriminanzanalyse gelungen, nachzuweisen, daß die Frequenz-Integrationsprofilanalyse mit dem hier verwendeten Variablensatz in der Lage ist, visuell-morphologisch nur ungenügend differenzierbare EEGs mit hoher Zuordnungswahrscheinlichkeit und hoher prozentualer Zuordnung zu trennen. Diesen Sachverhalt kann man einfach mit dem Begriff "Trennschärfe" beschreiben.

18. Interpretation und Kritik des Beispiels

Das Ziel dieses ausführlich dargelegten Beispiels war, die Brauchbarkeit des technischen Analyseverfahrens, des verwendeten Variablensatzes und der statistischen Auswertungskonzepte bei dem Versuch der Trennung visuell-morphologisch kaum unterscheidbarer Elektroencephalogramme aufzuzeigen. Dieses Ziel kann mit Einschränkungen als erreicht angesehen werden, denn es wurden Verfahren gefunden, die objektiv, quantitativ und trennscharf eine Diskriminierung visuell kaum differenzierbarer EEGs ermöglichten. Dabei ist zu berücksichtigen, daß sich die diesem Beispiel zugrundeliegenden Messungen nur auf einen eng umschriebenen topischen und frequenzmäßigen Bereich der Ruheaktivität erstrecken.

Die gefundenen EEG-Gruppenunterschiede als korrespondierend zu den psychiatrisch-diagnostischen Kriterien zu interpretieren, ist wegen der teilweisen Nicht-Erfüllung der theoretischen Voraussetzungen der angewendeten statistischen Verfahren und des mangelhaften Parameterausgleichs bei den Gruppen lediglich heuristisch zu rechtfertigen.

Einige der von BENTE (1965) mit Hilfe einer verfeinerten visuellen Analyse an 108 Psychosen des schizophren Formenkreises und 83 Depressionen erhobenen Befunde stimmen jedoch gut mit unseren Resultaten überein. So entspricht die dort gefundene prozentuale Verteilung der Alpha-Frequenzen unseren Ergebnissen, nämlich, daß

Depressionen zu einer Bevorzugung langsamer Frequenzen, Schizophrene mehr zu einer Bevorzugung schneller Alpha-Frequenzen neigen.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch HARDING (1964), der für Depressionen folgende typische quantitative EEG-Merkmale angibt: Dominierende Alpha-Frequenz bei 9-10 Hz und vergleichsweise hohe Spannungswerte in allen Frequenzen. Bei manischen Phasen ergab sich eine dominante Alpha-Frequenz bei 11 - 13 Hz bei vergleichsweise niedriger Spannung.

Entsprechende EEG-Veränderungen fand BENTE(1961) beim Umschlag depressiver in manische Phasen und umgekehrt.

Diese Befunde sind bezüglich des Einwandes eines ungenügenden Parameterausgleichs bei unserer Gruppeneinstellung von großer Bedeutung: Sie zeigen, daß die Bevorzugung langsamer Alpha-Frequenzen bei cyclothymen Depressionen sicherlich nicht allein auf deren höheres Lebensalter zurückgeführt werden kann, da beim Umschlag in die manische Phase ein gegensätzliches Verhalten zu beobachten ist. Vielmehr spricht dies dafür, daß genauso wie die Betonung schneller Alpha-Frequenzen in der Manie auch die Bevorzugung langsamer Alpha-Frequenzen in der Depression als syndromtypisch anzusehen ist.

Schließlich wäre anzumerken, daß eine Verbesserung der Genauigkeit und Stringenz des Vorgehens gegenüber unserer Studie noch durch folgende Schritte erreicht werden könnte:

- 1) würde ein quantitativer Vergleich der Faktorenstrukturen

die Interpretationsobjektivität der faktorenanalytischen Resultate erhöhen

2) würde sich durch die Berechnung von Faktorwerten für die einzelnen Individuen die Möglichkeit eröffnen, a) die Anpassung des Faktormodelles an die vorliegenden Daten zu prüfen und gegebenenfalls b) jeden Probanden damit hinsichtlich seiner Stellung in dem neu erhaltenen Bezugssystem wechselseitig unabhängiger Faktoren zu charakterisieren

3) hätte die Anwendung automatischer Klassifikationsverfahren den Vorteil, daß die Probanden allein aufgrund der EEG-Daten gruppiert werden könnten, wodurch ein Vergleich der resultierenden elektroencephalographischen mit der durch externe klinisch-diagnostische Kriterien gegebenen Ordnung möglich würde.

19. Schlußbemerkungen

Die im ersten Teil dargestellten methodischen Möglichkeiten der quantitativen EEG-Analyse und ihre im zweiten Teil demonstrierte Brauchbarkeit bei der Differenzierung psychiatrisch-diagnostischer Gruppen eröffnen für die psychophysiologische und psychiatrisch experimentelle Forschung neue Zugänge zu bisher verschlossenen Gebieten. Die Auffindung objektiver, quantitativ darstellbarer und trennscharfer elektroencephalographischer Merkmale schafft die Voraussetzung für eine methodische Vertiefung der EEG-Diagnostik und ihre Ausweitung über die bisherigen Anwendungsgebiete¹⁾ hinaus, wie dies bereits in der Einleitung kurz skizziert wurde. So könnte es beispielsweise auch sein, daß bei einer konsequenten Verfolgung dieses Weges pessimistische Urteile von der Art "One would never diagnose schizophrenia.... from the EEG" (CHANOIT und VALLEE 1964) revisionsbedürftig werden könnten..

Darüberhinaus könnten unter Heranziehung weiterer polygraphischer Parameter (Reaktionspotentiale, Augenmotilität, galvanischer Hautreflex, Atmung, EKG u.a.) umfassende Konzepte psychophysiologischer Korrespondenzanalysen entwickelt werden, die einen breiten Zugang zur individuellen

1) Über die bisherigen Anwendungsgebiete des EEG als Forschungsinstrument oder diagnostisches Hilfsmittel (z.B. in Psychologie, Cardilogie, Neurochirurgie usw.) gibt eine Zusammenstellung in Elektroenc.clin.neurophysiol. 1964, 16, 409 f. eine Übersicht.

Funktionsstruktur von der somatischen Seite her gestatten würden. Zusammen mit den Ergebnissen einer nach den Gesichtspunkten der objektiven und quantitativen Psychologie ausgerichteten Psychodiagnostik könnte dies zu einer konvergierenden Erhellung psychophysischer Strukturen führen. So konnten beispielsweise durch PAWLIK und CATELL (zitiert nach FAHRENBERG S.121) bereits konsistente Beziehungen zwischen EEG-Maßen des Alpha-Bandes in 2 Faktoren "objektiver" Persönlichkeitstests nachgewiesen werden, während BENTE, HARTUNG, BROEREN und SCHMITT kürzlich über erste Resultate elektroencephalographisch-leistungspsychologischer Korrelationsstudien berichteten, die mit der Integrationsprofilanalyse durchgeführt worden sind.

Wir hoffen, damit verdeutlicht zu haben, daß die Entwicklung der quantitativen EEG-Analyse über die im engeren Sinne neuropsychiatrische Diagnostik hinaus in Gebiete der psychophysiologischen Grundlagenforschung führt. Die hier zu bewältigenden Probleme erfordern zu ihrer Lösung eine integrierende Zusammenfassung elektrobiologischer, technologischer, biomathematischer, physiologischer, psychologischer und neuropsychiatrischer Methoden und sind daher letzten Endes auch nur durch interdisziplinär organisierte Arbeitsgruppen zu bewältigen, wozu an verschiedenen Orten bereits erste Ansätze sichtbar werden.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Im ersten Teil dieser Studie werden methodische Probleme einer quantitativen EEG-Auswertung dargestellt. Am Beispiel der Frequenz-Integrationsprofilanalyse (BENTE und PENNING) werden Möglichkeiten zur Deduktion von Kennwerten aufgezeigt. Neben Fragen der Datenerfassung werden eingehend die für die Datenverarbeitung verfügbaren statistischen Verfahren, deren Indikation und Aussagekraft erörtert, wobei eine Orientierung über die im DEUTSCHEN RECHENZENTRUM DARMSTADT vorhandenen einschlägigen Programme gegeben wird. Der Schwerpunkt dieser methodischen Ausführungen liegt auf der Darstellung, wie die quantitative EEG-Analyse auf die Erfüllung der Wertkriterien, denen ein diagnostisch relevantes Untersuchungsverfahren zu genügen hat (LIENERT) kontrolliert werden kann.

Im zweiten Teil wird die Anwendbarkeit der Frequenz-Integrationsprofilanalyse als elektroencephalographisches Auswertesystem, die Brauchbarkeit der aufgestellten Variablen und der statistischen Verarbeitungsverfahren untersucht, wobei jeweils die Erfüllung der Wertkriterien überprüft wird. Ziel dieses Anwendungsbeispiels war es, Möglichkeiten der Differenzierung und Diskriminierung in dem sogenannten "Normalbereich" der visuell-morphologischen Auswertung fallender Elektroencephalogramme anhand quantitativer EEG-Daten aufzuzeigen.

Dabei wurden die zunächst aufgestellten 32, die Alpha-Aktivität der rechten Occipitalregion beschreibenden Variablen auf ihre Reliabilität geprüft. Für 26 Variablen ergaben sich befriedigende bis gute Re-Test-Reliabilitäts-Koeffi-

zienten. Unter Berücksichtigung der Konfiguration der Interkorrelationen als eines weiteren Verfahrens zur Variablenselektion konnten 4 weitere Variablen als redundant nachgewiesen werden. Die bei einer Stichprobe von 100 Probanden vorgenommene Faktorenanalyse ergab eine Reduzierung des Merkmalsraumes von 23 Variablen auf 5 Dimensionen bei Erfassung von 91% der Gesamtvarianz. Vergleichbare Resultate ergab die Clusteranalyse, die sich daher ebenfalls zur Variablenselektion eignen dürfte.

In einer Querschnittsanalyse wurden zwei psychiatrische Krankheitsgruppen, nämlich 30 paranoid-halluzinatorische Schizophrenien und 29 periodische cyclothyme Depressionen sowie eine nicht-psychotische, neurologisch gesunde Normalgruppe (N = 41) auf elektroencephalographisch faßbare Gruppenunterschiede untersucht. Eine signifikante Differenzierung dieser 3 Gruppen, die unter Berücksichtigung des oben genannten Untersuchungszieles gebildet worden waren, gelang mit Hilfe des nichtparametrischen MANN-WHITNEY-Tests bei 12 Variablen. Durch den Vergleich der für die Gruppen berechneten Faktorenstrukturen konnte die Ähnlichkeit des dem Variablensatz jeweils zugrundeliegenden dimensional Systems und die Ähnlichkeit der Variablenverteilung innerhalb dieses Systems bestimmt werden. Schließlich konnte mit der multiplen Diskriminanzanalyse eine Trennung der Gruppen hinsichtlich ihrer quantitativen EEG-Daten erreicht werden, die hoch signifikant ist und auch bezüglich der Zuordnungen der Probanden zu den Gruppen und ihrer Wahrscheinlichkeit als sehr befriedigend bezeichnet werden kann.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen demnach, daß mit dem Auswerteverfahren der Frequenz-Integrationsprofilanalyse eine objektive und trennscharfe Differenzierung visuell-morphologisch nur schwer unterscheidbarer, in den Normalbereich fallender Elektroencephalogramme gelingt. Auf die Möglichkeiten, die sich hieraus für den Einsatz der quantitativen EEG-Analyse im Rahmen einer psychophysiologischen Grundlagenforschung ergeben, wird abschließend hingewiesen.

T a b e l l e n u n d A b b i l d u n g e n

Übersicht über Tabellen und Abbildungen

Tabellen

1. Aufstellung der 32 Variablen
- 2.1 Gruppenmittelwerte und Standardabweichungen aller 32 Variablen für die Normalgruppe
- 2.2 Gruppenmittelwerte und Standardabweichungen aller 32 Variablen für die Schizophreniegruppe
- 2.3 Gruppenmittelwerte und Standardabweichungen aller 32 Variablen für die Depressionsgruppe
- 2.4 Ergebnisse der Prüfung auf Normalität
3. Reliabilitätskoeffizienten der Variablen
4. Rangkorrelationsmatrix der Normalgruppe
- 5.1 Rotierte Faktorenmatrix der Gesamtgruppe
- 5.2 " " der Normalgruppe
- 5.3 " " der Schizophreniegruppe
- 5.4 " " der Depressionsgruppe
- 5.5 Gegenseitige Zuordnung der Faktoren F_1 - F_5 in der Normal-, Schizophrenie- und Depressionsgruppe
6. Rangordnung der durchschnittlichen Variablenausprägung in den Gruppen
7. Ergebnisse des MANN-WHITNEY-Tests

Abbildungen

1. Gruppenmittelwerte der Var. 1-16, 18, 19, 28-32
- 2.1 Faktorenladungen F_1 - F_5 (Faktorenstruktur) in der Gesamtgruppe
- 2.2 " Normalgruppe
- 2.3 " Schizophreniegruppe
- 2.4 " Depressionsgruppe
3. Vergleich der Faktorenebene 2/4 bei der Normal-, Schizophrenie- und Depressionsgruppe
4. Signifikante Gruppenunterschiede mit MANN-WHITNEY-Test
5. Diskriminanzanalyse der Normal-, Schizophrenie- und Depressionsgruppe

Tabelle 1

Aufstellung und Bezeichnung der 32 Variablen

VAR.NR.	BEZEICHNUNG	
1	Mittelwert der Integrationswertfolge für	f = 8,5 Hz
2	" "	9,4
3	" "	10,3
4	" "	11,4
5	" "	12,5

Diese Variablen werden als "Spannungsvariablen" (8,5; 9,4 usw.), ihre Meßwerte als "Spannungswerte" (8,5; 9,4 usw.) bezeichnet, das Spektrum dieser 5 Variablen bzw. ihrer Meßwerte als "Spannungsspektrum".

6	Streuung der Integrationswertfolge für	f = 8,5 Hz
7	" "	9,4
8	" "	10,3
9	" "	11,4
10	" "	12,5

Diese Variablen werden als "Streuungsvariablen" (8,5; 9,4 usw.), ihre Meßwerte als "Streuungswerte" bezeichnet, das Spektrum dieser 5 Variablen bzw. ihrer Meßwerte als "Streuungsspektrum".

11	Prozentualer Anteil der Mittelwerte der Einzelfrequenzen an der Mittelwertssumme 8,5 - 12,5 für	f = 8,5 Hz
12	" "	9,4
13	" "	10,3
14	" "	11,4
15	" "	12,5

Diese Variablen werden als "Prozentvariablen", ihre Meßwerte als "Prozentmeßwerte", das Spektrum als "Prozentspektrum" bezeichnet.

VAR.NR.	BEZEICHNUNG	
28	Variabilitätskoeffizient für	$f = 8,5 \text{ Hz}$
29	"	9,4
30	"	10,3
31	"	11,4
32	"	12,5

Diese Variablen werden als "Variabilitätsvariablen", ihre Meßwerte als "Variabilitätswerte", das Spektrum als "Variabilitätsspektrum" bezeichnet.

26	Schiefe der Integrationswertverteilung für	$f = 8,5 \text{ Hz}$
27	"	12,5

Diese Variablen werden als "Schiefevariablen", ihre Meßwerte als "Schiefewerte" bezeichnet.

24	Exzess der Integrationswertverteilung für	$\hat{f} = 8,5 \text{ Hz}$
25	"	12,5

Diese Variablen werden als "Exzessvariablen", ihre Meßwerte als "Exzesswerte" bezeichnet.

16	Mittelwertssumme der Variablen 1 - 5
----	--------------------------------------

Diese Variable wird als "Spannungssummenvariable", ihr Meßwert als "Spannungssummenwert" bezeichnet.

18	Schwerpunktsmaß des Prozentspektrums
----	--------------------------------------

Diese Variable wird als "Schwerpunktsvariable", ihr Meßwert als "Schwerpunktswert" bezeichnet.

19	Steilheitsmaß des Prozentspektrums
----	------------------------------------

Diese Variable wird als "Steilheitsvariable", ihr Meßwert als "Steilheitswert" bezeichnet.

20	Mittelwert der Integrationswertfolge der Dominanten Frequenz (D.F.)
----	---

Diese Variable wird als "Spannungsvariable der D.F.", ihr Meßwert als "Spannungswert der D.F." bezeichnet.

VAR.NR.	BEZEICHNUNG
21	Streuung der Integrationswertfolge der Dominanten Frequenz Diese Variable wird als "Streuungsvariable der D.F.", ihr Meßwert als "Streuungswert der D.F." bezeichnet.
17	Variabilitätskoeffizient der Dominanten Frequenz Diese Variable wird als "Variabilitätsvariable der D.F.", ihr Meßwert als "Variabilitätswert der D.F." bezeichnet.
23	Schiefe der Integrationswertverteilung der Dominanten Frequenz Diese Variable wird als "Schiefevariable der D.F.", ihr Meßwert als "Schiefewert der D.F." bezeichnet.
22	Exzess der Integrationswertverteilung der Dominanten Frequenz Diese Variable wird als "Exzessvariable der D.F.", ihr Meßwert als "Exzesswert der D.F." bezeichnet.

Als dominante Frequenz wird jeweils die Frequenz bezeichnet, die den höchsten Prozentwert im Prozentspektrum erreicht.

Tabelle 2.1

Gruppenmittelwerte und Standardabweichungen aller 32 Variablen
für die Normalgruppe N = 41

VAR.NR.	MITTELWERT	STANDARDABWEICHUNG
1	8.43	6.65
2	13.06	9.75
3	19.67	13.46
4	18.69	11.86
5	11.92	8.08
6	3.47	1.59
7	4.80	2.23
8	6.76	3.24
9	6.39	2.99
10	4.27	1.79
11	10.42	4.88
12	16.86	6.11
13	26.55	6.01
14	27.41	5.93
15	18.76	9.87
16	71.87	47.03
17	0.53	0.50
18	172.00	36.10
19	2422.50	359.00
20	21.77	13.71
21	7.39	3.16
22	3.90	3.22
23	3.24	0.94
24	6.08	7.81
25	4.12	3.23
26	3.79	1.59
27	3.30	1.03
28	1.06	1.20
29	0.81	0.85
30	0.61	0.57
31	0.55	0.49
32	0.62	0.60

Tabelle 2.2

Gruppenmittelwerte und Standardabweichungen aller 32 Variablen
für die Schizophreniegruppe N = 30

VAR.NR.	MITTELWERTE	STANDARDABWEICHUNG
1	11.28	12.18
2	16.37	15.85
3	20.03	16.08
4	19.23	15.98
5	13.76	11.76
6	3.79	1.89
7	5.27	2.87
8	6.87	3.45
9	6.42	4.13
10	4.74	2.76
11	13.61	8.48
12	18.29	8.39
13	23.79	6.21
14	24.93	9.27
15	19.35	9.87
16	80.68	63.90
17	0.51	0.39
18	181.30	47.30
19	2435.10	370.80
20	24.75	18.23
21	8.06	4.14
22	3.89	2.88
23	3.28	0.82
24	7.06	9.64
25	5.89	6.43
26	3.90	1.67
27	3.52	1.19
28	0.97	1.13
29	0.82	1.02
30	0.68	0.72
31	0.60	0.62
32	0.60	0.56

Tabelle 2.3

Gruppenmittelwerte und Standardabweichungen aller 32 Variablen

für die Depressionsgruppe N = 29

VAR.NR.	MITTELWERTE	STANDARDABWEICHUNG
1	13.83	10.76
2	18.06	12.49
3	22.39	16.07
4	19.81	12.95
5	14.35	8.51
6	4.53	3.68
7	5.36	3.03
8	6.00	2.65
9	5.31	2.40
10	3.82	1.48
11	14.67	6.04
12	19.76	5.08
13	24.67	4.85
14	22.97	4.73
15	17.92	7.73
16	88.46	56.70
17	0.37	0.24
18	190.20	32.90
19	2223.70	335.60
20	24.30	15.79
21	6.73	3.27
22	3.70	2.64
23	2.92	0.69
24	6.29	14.10
25	4.91	4.40
26	3.43	1.75
27	3.22	0.90
28	0.74	1.41
29	0.50	0.62
30	0.40	0.33
31	0.37	0.29
32	0.39	0.33

Tabelle 2.4

Ergebnisse der Prüfung auf Normalität

VAR.NR.	NORMALGRUPPE	SCHIZOPHRENIEGRUPPE	DEPRESSIONSGRUPPE
1	0	3	1
2	0	3	0
3	0	1	2
4	2	2	2
5	0	3	0
6	0	0	3
7	0	0	3
8	1	0	0
9	1	3	1
10	1	3	3
11	0	1	0
12	0	0	2
13	0	0	0
14	0	0	0
15	3	3	3
16	0	2	1
17	3	3	3
18	1	0	3
19	3	3	3
20	0	0	1
21	0	1	2
22	3	3	3
23	3	3	3
24	3	3	3
25	3	3	3
26	3	3	3
27	3	3	0
28	3	3	3
29	3	3	3
30	3	3	3
31	3	3	3
32	3	3	3

0 = "nicht signifikant"

1 = "schwach signifikant" = zweiseitige 5% - Schranke

2 = "signifikant" = zweiseitige 1% - Schranke

3 = "stark signifikant" = zweiseitige 0.1%-Schranke

Tabelle 3

Reliabilitätskoeffizienten der Variablen

VAR.NR.	N = 34	%	N = 24	%
1	0.887	0.1	0.843	0.1
2	0.851	0.1	0.803	0.1
3	0.816	0.1	0.784	0.1
4	0.728	0.1	0.664	0.1
5	0.736	0.1	0.720	0.1
6	0.720	0.1	0.628	1.0
7	0.751	0.1	0.729	0.1
8	0.681	0.1	0.603	1.0
9	0.790	0.1	0.798	0.1
10	0.657	0.1	0.778	0.1
11	0.677	0.1	0.615	1.0
12	0.847	0.1	0.857	0.1
13	0.724	0.1	0.684	0.1
14	0.761	0.1	0.789	0.1
15	0.671	0.1	0.656	0.1
16	0.812	0.1	0.760	0.1
17	0.673	0.1	0.704	0.1
18	0.796	0.1	0.796	0.1
19	0.754	0.1	0.726	0.1
20	0.818	0.1	0.776	0.1
21	0.757	0.1	0.705	0.1
22	0.276	-	0.114	-
23	0.467	1.0	0.306	-
24	0.339	5.0	0.194	-
25	0.351	5.0	0.228	-
26	0.543	0.1	0.540	1.0
27	0.470	1.0	0.410	5.0
28	0.717	0.1	0.668	0.1
29	0.698	0.1	0.694	0.1
30	0.741	0.1	0.696	0.1
31	0.683	0.1	0.605	1.0
32	0.690	0.1	0.649	0.1

Rho _{SPEARMAN}	=	0.339	5%	=	0.404	5%
	=	0.436	1%	=	0.515	1%
	=	0.539	0.1%	=	0.629	0.1%

Tabelle 4

Rangkorrelationsmatrix der Normalgruppe N = 41

VAR.NR.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	-																															
2	99	-																														
3	9295	-	-																													
4	848490	-		-																												
5	81808396	-			-																											
6	8080736557	-				-																										
7	828582716392	-					-																									
8	66708078687584	-						-																								
9	5354638076586383	-							-																							
10	333038626438395785	-								-																						
11	76725637337265321009	-									-																					
12	5254380902605728093582	-										-																				
13	192934120519304409241146	-											-																			
14	59584314116055251131878935	-												-																		
15	2530240723343422205049807766	-													-																	
16	959596969274797568495430183609	-														-																
17	80818176754250433110502721371682	-															-															
18	5053431100565430094180945689862932	-																-														
19	807764585770694539198462026121675553	-																	-													
20	92929696936975756949492519320899832761	-																		-												
21	6970757974788292897434202121047737184877	-																			-											
22	181613293326212432270213050712231313062031	-																				-										
23	51515860573945575444180419150259450727604812	-																					-									
24	4443394442534748513826212224134333193540515040	-																						-								
25	151410121324151212070806021206141504051309421935	-																							-							
26	68697267616265695934453334412671594148726818574811	-																								-						
27	5659625451485561341632272535225954292761481757253548	-																									-					
28	919087818056635441206742205121899343728853124635116453	-																										-				
29	89898581795557534120623924462288924068875114483615645098	-																											-			
30	8788847876515747361459372544228696386586461540391462489696	-																												-		
31	818381767445534632105131233819829833598240164137135756939396	-																													-	
32	82828182864553484223451905300586921960864522503316575890909092	-																													-	

Die Zahlen sind die ersten beiden Ziffern hinter dem Komma.

Unterstrichene Zahlen bedeuten negative Koeffizienten.

Tabelle 5.1

Rotierte Faktorenmatrix der Gesamtgruppe

VAR.NR.	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
1	-0.8302	-0.0248	-0.4176	-0.2247	-0.0003
2	-0.8503	-0.0270	-0.3358	-0.2674	-0.1310
3	-0.8758	-0.0639	-0.0714	-0.3109	-0.2431
4	-0.8680	-0.0989	0.1630	-0.3585	-0.0780
5	-0.8317	-0.0505	0.1861	-0.3616	0.1436
6	-0.6355	0.0300	-0.5115	-0.0513	0.0005
7	-0.6866	0.0127	-0.4092	-0.1640	-0.1978
8	-0.1932	-0.9386	-0.0727	-0.1520	-0.1221
9	-0.0880	-0.9743	0.0725	-0.1142	0.0395
10	-0.0884	-0.9249	0.1179	-0.1106	0.1943
11	-0.0957	-0.0648	-0.9464	0.0200	0.1391
12	-0.1365	0.0906	-0.8492	-0.1647	-0.3826
13	-0.1232	0.1902	0.0220	-0.1594	-0.9386
14	0.0527	0.1109	0.9161	0.0806	0.0251
15	0.1207	0.1597	0.5936	0.1491	0.7308
16	-0.9191	-0.0798	-0.0904	-0.3325	-0.0883
18	0.1789	-0.9312	-0.2141	-0.0258	0.0290
19	0.3209	-0.2163	0.5525	0.3231	0.3300
28	0.3144	0.0404	0.4350	0.7071	0.1456
29	0.3000	0.1364	0.3291	0.8032	0.2882
30	0.3319	0.1373	0.1042	0.8490	0.2557
31	0.3452	0.1298	-0.0489	0.8752	0.0522
32	0.3899	0.1239	-0.0075	0.8610	-0.1328
Spalten- quadratsummen	6.1629	3.7825	4.2860	4.2263	2.0852
In Prozent einzeln	30.0002	18.4127	20.8635	20.5731	10.1506
In Prozent kumulativ	30.0002	48.4129	69.2764	89.8494	100.0000

Tabelle 5.2

Rotierte Faktorenmatrix der Normalgruppe

VAR.NR.	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
1	0.3349	0.4450	-0.1171	0.0378	0.8081
2	0.3556	0.4138	-0.1139	0.1296	0.8075
3	0.3905	0.2525	-0.2438	0.2507	0.7948
4	0.4590	0.0722	-0.4385	0.0643	0.7205
5	0.4201	0.0095	-0.4193	-0.1619	0.7076
6	0.2168	0.6512	-0.4965	0.0969	0.4100
7	0.1837	0.5271	-0.4647	0.2331	0.5135
8	0.2374	0.1791	-0.6124	0.3839	0.5014
9	0.2098	-0.0309	-0.8963	0.0991	0.3082
10	0.1679	-0.1261	-0.8555	-0.2801	0.1617
11	0.1236	0.9659	-0.0147	-0.0613	0.1546
12	0.0415	0.8848	0.0705	0.3948	0.1373
13	0.1186	0.1475	0.0507	0.9620	0.0728
14	-0.1202	-0.8913	-0.1572	-0.0388	-0.1872
15	-0.0858	-0.5792	0.0270	-0.7774	-0.0939
16	0.4198	0.2431	-0.2957	0.0928	0.8137
18	0.0887	0.8331	0.0179	0.5054	0.1288
19	-0.2187	-0.6612	0.3359	-0.3266	-0.2765
28	-0.7495	-0.4573	0.3118	-0.0094	-0.2787
29	-0.7440	-0.3953	0.2387	-0.3151	-0.2993
30	-0.8711	-0.1812	0.1541	-0.2503	-0.3008
31	-0.9130	0.0045	0.0942	-0.0936	-0.3423
32	-0.8727	-0.0195	0.1583	0.1216	-0.3874
Spalten- quadratsummen	4.7415	5.6457	3.2727	2.6580	5.1330
In Prozent einzeln	22.1040	26.3192	15.2568	12.3911	23.9289
In Prozent kumulativ	22.1040	48.4232	63.6800	76.0711	100.0000

Tabelle 5.3

Rotierte Faktorenmatrix der Schizophreniegruppe

VAR.NR.	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
1	-0.8622	0.0062	-0.3661	0.2032	-0.0806
2	-0.8624	-0.0209	-0.3061	0.2434	-0.1564
3	-0.9199	-0.0069	-0.0414	0.2717	-0.2080
4	-0.8860	0.0358	0.2478	0.2712	-0.0409
5	-0.8640	-0.0089	0.2892	0.2516	0.1325
6	-0.7168	-0.2772	-0.4698	0.1768	-0.0676
7	-0.6111	-0.2448	-0.3902	0.3788	-0.1740
8	-0.0527	0.9612	-0.0996	0.1902	-0.0403
9	0.0144	0.9746	0.0442	0.1483	0.0579
10	-0.0398	0.9477	0.0846	0.1526	0.1636
11	0.0249	0.1005	-0.9259	-0.2386	0.1513
12	-0.1264	-0.1532	-0.8528	0.2949	-0.2702
13	-0.2050	-0.3518	-0.0209	0.2095	-0.8647
14	0.0026	-0.1708	0.9256	-0.0179	0.0084
15	0.0895	-0.2328	0.6596	-0.1831	0.6331
16	-0.9530	0.0332	-0.0121	0.2757	-0.0831
18	0.1747	0.9563	-0.1851	0.0292	0.0330
19	0.3920	0.4038	0.5251	-0.2341	0.3276
28	0.3783	0.0114	0.4593	-0.7334	0.0480
29	0.2986	-0.1546	0.2553	-0.8381	0.2014
30	0.3261	-0.1887	0.0206	-0.8189	0.3492
31	0.3294	-0.1803	-0.1408	-0.8716	0.0565
32	0.3601	-0.1737	-0.0777	-0.8909	-0.0592

Spalten- quadratsumme	6.4927	4.3523	4.2558	4.3851	1.6913
--------------------------	--------	--------	--------	--------	--------

In Prozent einzel	30.6589	20.5517	20.0962	20.7069	7.9864
----------------------	---------	---------	---------	---------	--------

In Prozent kumulativ	30.6589	51.2106	71.3067	92.0136	100.0000
-------------------------	---------	---------	---------	---------	----------

Tabelle 5.4

Rotierte Faktorenmatrix der Depressionsgruppe

VAR.NR.	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
1	-0.4233	-0.6002	0.6384	0.0218	0.0336
2	-0.4491	-0.5038	0.6921	-0.1841	0.0307
3	-0.4958	-0.1837	0.7196	-0.3448	0.0097
4	-0.6116	0.0442	0.7089	-0.1751	-0.0792
5	-0.5617	0.1288	0.7352	0.1158	-0.1164
6	-0.6558	-0.6361	0.0803	0.1656	-0.0220
7	-0.7255	-0.5033	0.1841	-0.0562	-0.0480
8	-0.8108	-0.0772	0.3623	-0.3568	-0.0675
9	-0.9003	0.2287	0.2765	-0.0249	-0.0692
10	-0.7622	0.3525	0.1714	0.2723	-0.0720
11	0.0212	-0.8601	0.1144	0.3075	-0.3000
12	0.0460	-0.8598	-0.0260	-0.2678	-0.3549
13	-0.0204	0.0525	0.1217	-0.9396	-0.2453
14	-0.1723	0.9360	-0.0665	-0.0326	0.1783
15	0.0663	0.6309	-0.1082	0.5477	0.5117
16	-0.5440	-0.2476	0.7500	-0.1566	-0.0198
18	-0.0082	-0.8700	0.1116	-0.1804	-0.4302
19	0.0895	0.3719	-0.0271	0.0229	0.8577
28	0.0754	0.3097	-0.3071	0.1970	0.8668
29	0.0627	0.2993	-0.4442	0.2008	0.8110
30	0.0663	0.1399	-0.7935	0.1141	0.5072
31	0.0646	0.0447	-0.8787	0.0553	0.3134
32	0.1257	-0.0180	-0.9010	-0.0806	0.1521
Spalten- quadratsumme	4.6967	5.4264	5.8504	1.9394	3.3178
In Prozent einzeln	22.1223	25.5593	27.5563	9.1347	15.6274
In Prozent kumulativ	22.1223	47.6817	75.2380	84.3726	100.0000

Tabelle 5.5

Gegenseitige Zuordnung der Faktoren F_1 - F_5 in der Normal-,
Schizophrenie- und Depressionsgruppe

	N = 41		N = 30		N = 29	
	Normalgruppe		Schizophreniegruppe		Depressionsgruppe	
F_1	- 5	23.93	1	30.66	- 3	27.56
F_2	- 3	15.26	2	20.55	- 1	22.12
F_3	- 2	26.32	3	20.10	2	25.56
F_4	1	22.10	4	20.71	- 5	15.63
F_5	- 4	12.39	5	7.99	4	9.13

Die Tabelle ist folgendermaßen zu lesen:

Die Zahlen in der ersten Spalte stellen die fortlaufende Numerierung der Faktoren entsprechend ihrer Ausgabe bei der Berechnung mit dem Programm PAFA dar.

Das Minuszeichen vor diesen Zahlen bedeutet, daß dieser Faktor zwar sehr ähnliche Ladungszahlen wie der Vergleichsfaktor der Gruppe N = 30 hat hinsichtlich der absoluten Höhe der Ladungszahlen, aber diese Ladungszahlen sämtlich in ihrem Vorzeichen verändert sind.

Die Zahlen in der zweiten Spalte bedeuten den prozentualen Varianzanteil des Faktors an der insgesamt von allen 5 Faktoren erfaßten Varianz.

Tabelle 6

Rangordnung der durchschnittlichen Variablenausprägung
in den Gruppen

VAR.NR.	GRUPPENMITTELWERTE			STANDARDABWEICHUNGEN		
1	D	S	N	S	D	N
2	"			"		
3	"			"		
4	"			"		
5	"			"		
6	D	S	N	D	S	N
7	"			"		
8	S	N	D	S	N	D
9	"			"		
10	"			"		
11	D	S	N	S	D	N
12	"			S N D		
13	N	D	S	"		
14	N	S	D	"		
15	S	N	D	N	S	D
16	D	S	N	S	D	N
18	D	S	N	S	N	D
19	S	N	D	S	N	D
28	N	S	D	D	N	S
29	S	N	D	S	N	D
30	"			"		
31	"			"		
32	N	S	D	N	S	D

Tabelle 7

Ergebnisse des MANN-WHITNEY-Tests (U-Werte)

VAR.NR.	1	2	3	4	5
N / S	-0.66	-0.47	0.18	0.44	-0.34
N / D	-2.04 !	-1.46	-0.17	0.00	-1.14
S / D	-1.15	-0.84	-0.84	-0.62	-0.75
VAR.NR.	11	12	13	14	15
N / S	-1.61	-0.45	1.80 !	1.41	-0.49
N / D	-3.11!!!	-2.30 !	1.71 !	3.27 !!!	-0.24
S / D	-0.99	-1.05	-0.47	0.71	0.33
VAR.NR.	16	18	19		
N / S	-0.15	-0.84	-0.01		
N / D	-0.94	-2.23 !	3.80 !!!		
S / D	-0.83	-0.68	3.31 !!!		
VAR.NR.	28	29	30	31	32
N / S	0.63	0.26	-0.52	-0.45	0.13
N / D	2.37 !!	2.10 !	2.08 !	2.13 !	2.01 !
S / D	1.72 !	1.60	2.22 !	2.19 !	2.20 !

U = 1.64 5% - Schranke !
 U = 2.33 1% - Schranke !!
 U = 3.09 0.1%- Schranke !!!

N = Normalgruppe N = 41
 S = Schizophreniegruppe N = 30
 D = Depressionsgruppe N = 29

N/S bedeutet, daß abgetestet wird, ob die Normalgruppe hinsichtlich ihrer zentralen Tendenz einen höheren Wert aufweist als die Gruppe der Schizophrenen. Minuszeichen vor den U-Werten zeigen also einen umgekehrten Unterschied an.

Mittelwerte der Variablen 1-16, 18, 19, 28-32 zu den Gruppen N, S, D

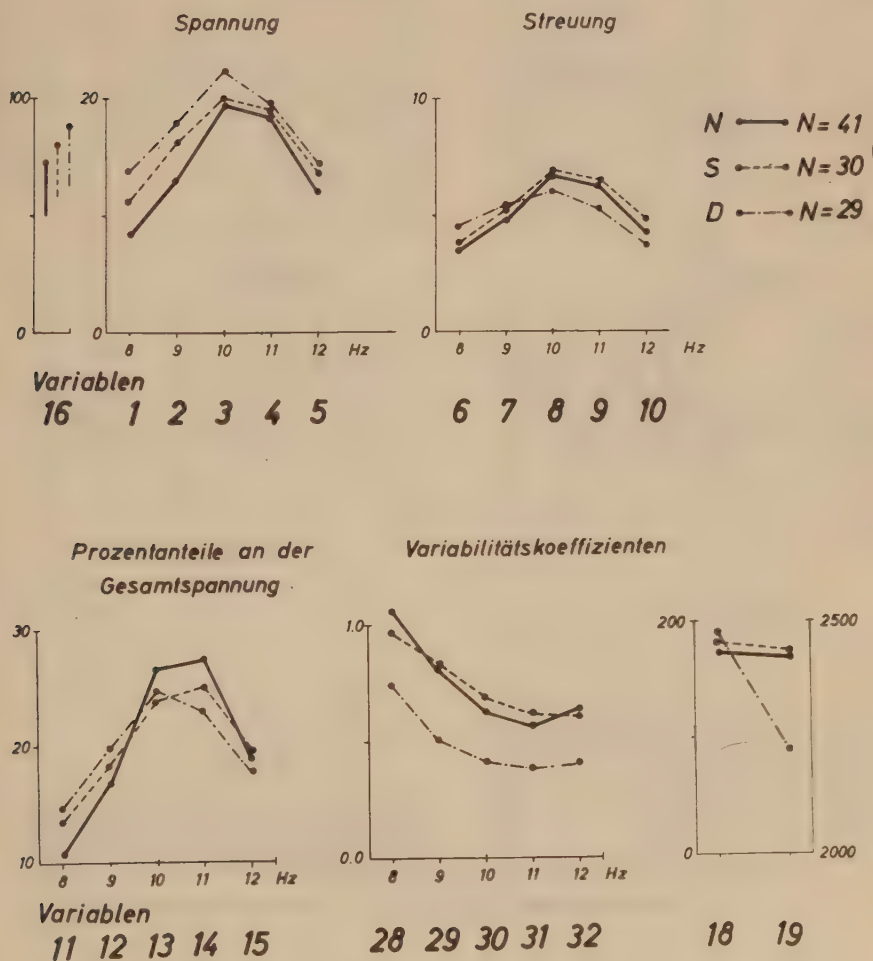
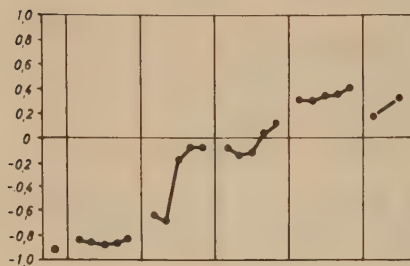


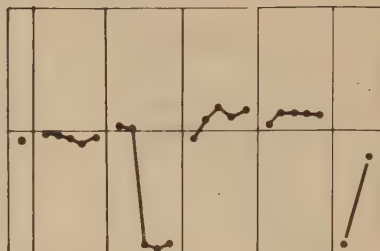
Abbildung 1

Faktorenloadungen $N=100$ (Gesamtstichprobe)

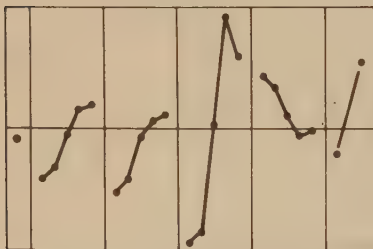
Faktor 1



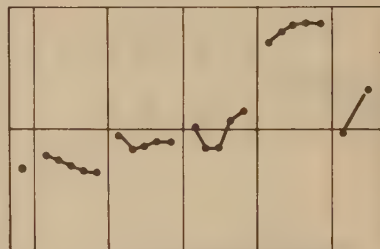
Faktor 2



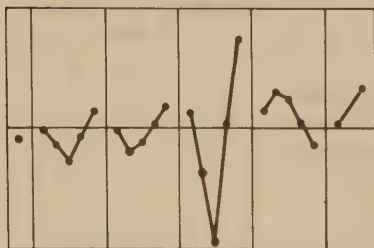
Faktor 3



Faktor 4



Faktor 5

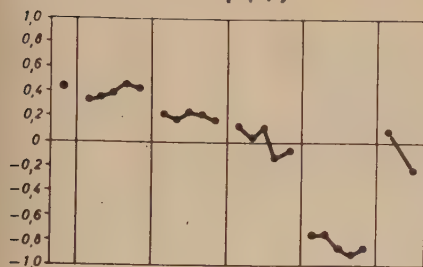


Variable

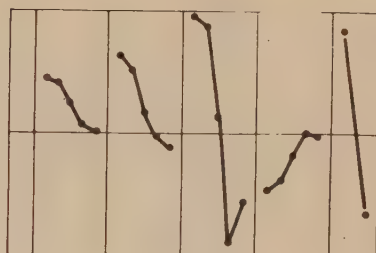
Variable	1-5	6-10	11-15	16-19
16	1-5	6-10	11-15	16-19

Faktorenstruktur N = 41 (Normal-Gruppe)

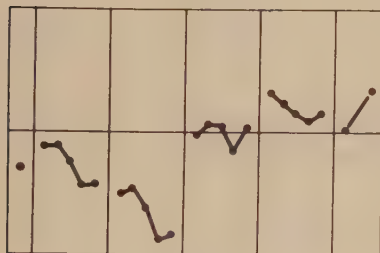
1 (4)



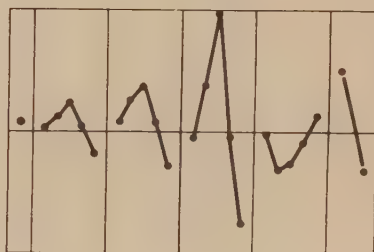
2 (3)



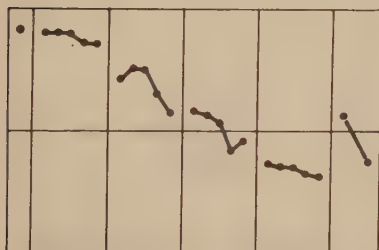
3 (2)



4 (5)



5 (1)



Variable

16	1-5	6-10	11-15	28-32	18,19
----	-----	------	-------	-------	-------

Die Ziffern in Klammern beziehen sich auf die Faktorennummerierung bei N = 30 (Schizophrenen)

Faktorenstruktur N = 30 (Schizophrene)

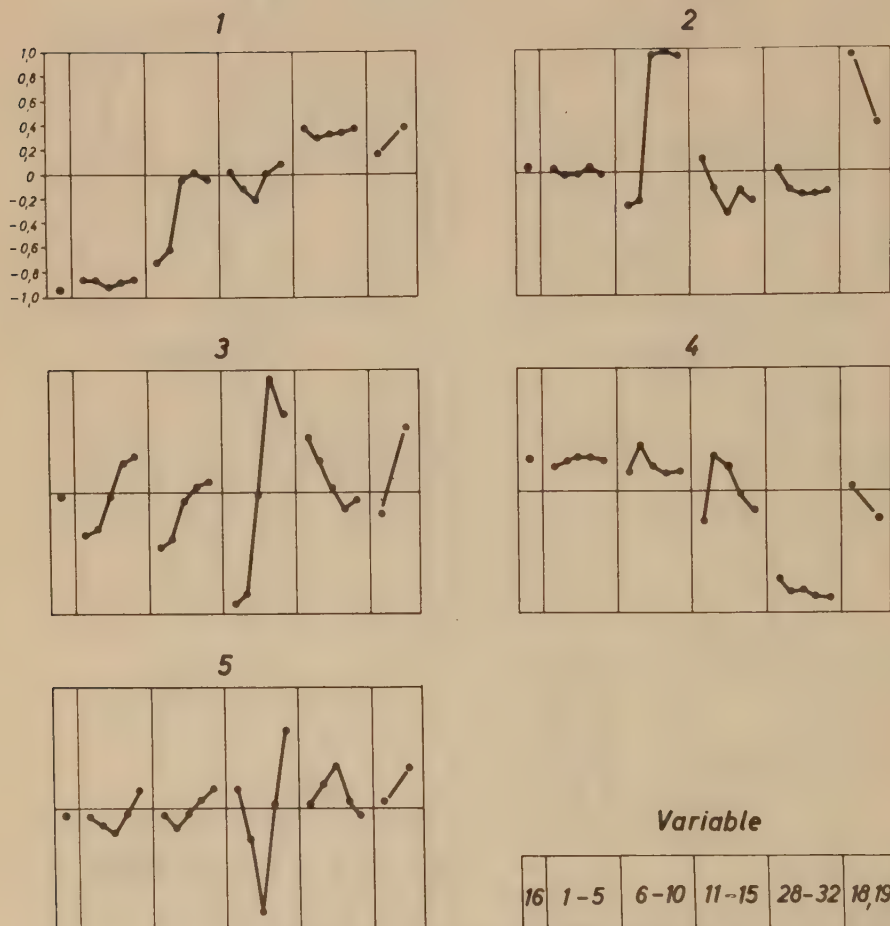
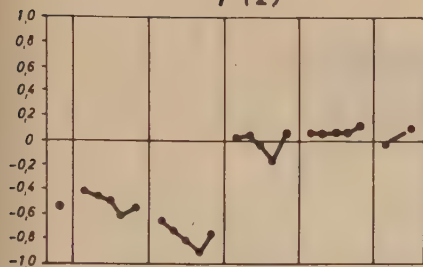


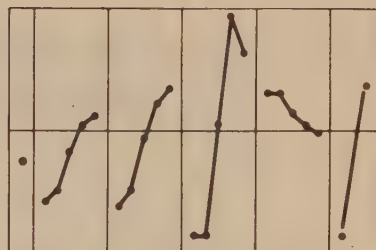
Abbildung 2.3

Faktorenstruktur N = 29 (Depressionen)

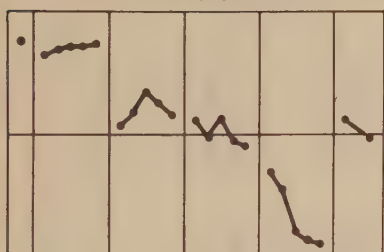
1 (2)



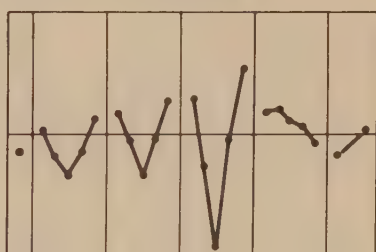
2 (3)



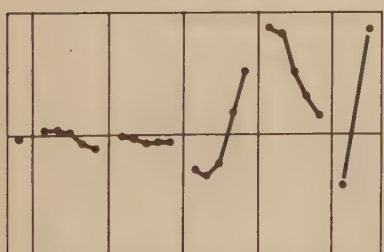
3 (1)



4 (5)



5 (4)



Variable

16	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35
----	-----	------	-------	-------	-------	-------	-------

Die Ziffern in Klammern beziehen sich auf die
Faktorennummerierung bei N = 30 (Schizophrenien)

Vergleich der Faktorenebene 2/4 bei den Gruppen N,S,D

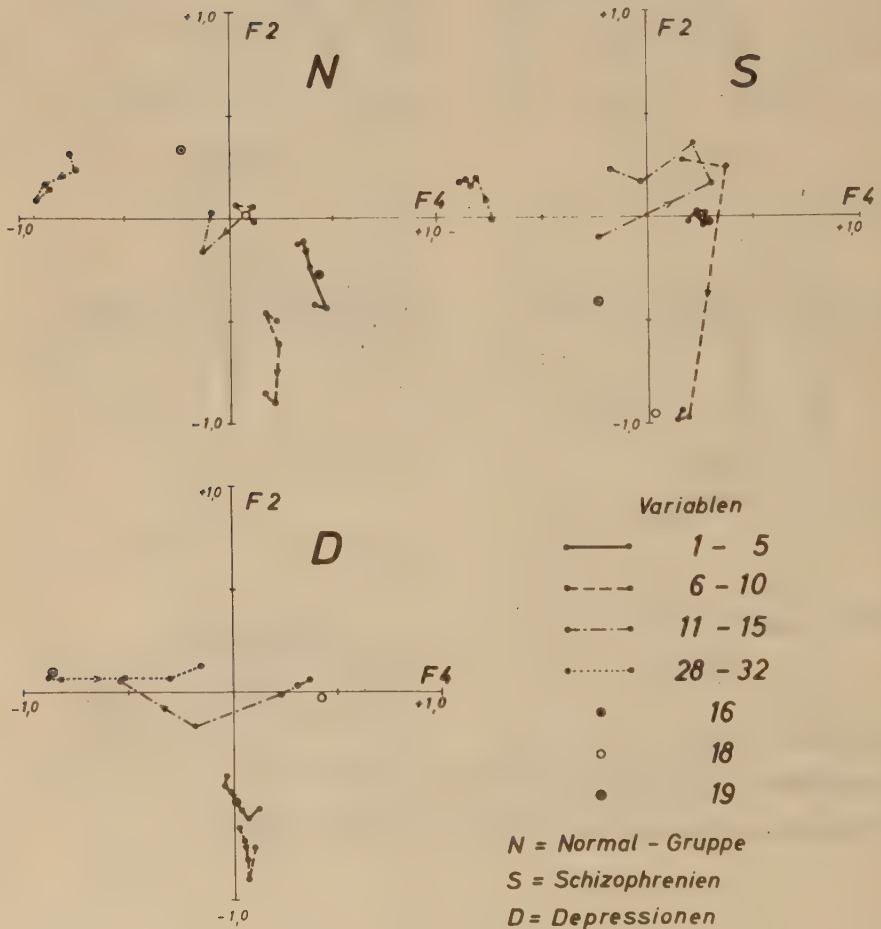


Abbildung 3

Signifikante Gruppenunterschiede

mit Mann - Whitney - Test

	8,5	9,4	10,3	11,4	12,5 Hz
N	10,4 < D 0,1%.	16,9 < D 5%.	26,5 > D,S 5%.	27,4 > D 0,1%.	18,8
S	13,6	18,3	23,8 < N 5%.	24,9	19,4
D	14,7 > N 0,1%.	19,8 > N 5%.	24,7 < N 5%.	23,0 < N 0,1%.	17,9

Mittlere prozentuale Frequenzanteile (Variablen 11 - 15)

	8,5	9,4	10,3	11,4	12,5 Hz
N	106 > D 1%.	81 > D 5%.	61 > D 5%.	55 > D 5%.	62 > D 5%.
S	97 > D 5%.	82	68 > D 5%.	60 > D 5%.	60 > D 5%.
D	74 < N,S 1%,5%.	50 < N 5%.	40 < N,S 5%.	37 < N,S 5%.	39 < N,S 5%.

Mittlere Variabilitätskoeffizienten (Variablen 28 - 32)

	8,5 Hz		
N	8,4 < D 5%.	< D 5%.	> D 0,1%.
S	11,3		> D 0,1%.
D	13,8 > N 5%.	> N 5%.	< N,S 0,1%.

N = Normal -Gruppe

S = Schizophrenien

D = Depressionen

Variable 1

18

19

Diskriminanzanalyse

N	18	28	7	8	16	5	41
S	6	7	13	18	11	5	30
D	7	8	1	1	21	20	29

*Absolute Häufigkeit der Zuordnung
zur eigenen und zu den Fremdgruppen*

	N		S		D		
N	44	68	17	19	39	13	100 %
S	20	23	43	60	37	17	100 %
D	25	28	3	3	72	69	100 %

N = Normal-Gruppe
 S = Schizophrenen
 D = Depressionen

□ 7 Variablen
 ▨ 23 Variablen

*Prozentanteil der Zuordnung zur
eigenen und zu den Fremdgruppen*

N	0,53	0,66	0,49	0,57	0,43	0,72
S	0,50	0,56	0,51	0,77	0,46	0,58
D	0,41	0,55	0,36	0,48	0,55	0,85

*Mittlere Wahrscheinlichkeit der
Zuordnung zur eigenen und zu den
Fremdgruppen*

S c h r i f t t u m

1. ANDERSON, T.W.
Introduction to Multivariate Statistical Analysis
John Wiley, New York 1958
2. BENTE, D.
Elektroencephalographische Gesichtspunkte zur Klassifikation
neuro- und thymoleptischer Pharmaka
Med. exp. 5, 337-346 (1961)
3. BENTE, D.
Vigilanz, dissoziative Vigilanzverschiebung und Insuffizienz
des Vigilitätstonus
in: Begleitwirkungen und Mißerfolge der psychiatrischen
Pharmakotherapie
Herausgeber: H. Kranz und K.Heinrich
G. Thieme, Stuttgart 1964, S. 13-28
4. BENTE, D.
Das Elektroencephalogramm bei Psychosen: Befunde und Probleme
Hippokrates, 21, 817-823 (1965)
5. BENTE, D., W.BROEREN, M.-L.HARTUNG u. W.SCHMITT
Elektroencephalographisch-testpsychologische Korrelations-
studien
Zentraleuropäisches Symposium für Psychopharmakologie und
Pharmakopsychiatrie, Karlsbad, 2.-5.10.67 (im Druck)
6. BENTE, D., H.C.B.DENBER, M.-L.HARTUNG u.K.M.RANNEBERG
Extrapyramidalmotorische und elektroencephalographische
Reaktivität unter neuroleptischer Medikation
Pharmakopsychiatrie - Neuro-Psychopharmakologie, 1
27-45 (1968)

7. BENTE, D. u. J. PENNING

Die Frequenz-Integrationsprofilanalyse - Ein Beitrag zur
quantitativen Elektroencephalographie
(in Vorbereitung)

8. BRAZIER, M.A.B. (Editor)

Computer Techniques in EEG-Analysis
Elsevier Publishing Company, Amsterdam-New York 1961

9. BROWNEE, K.A.

Statistical Theory and Methodology in Science and Engineering
John Wiley, New York 1960

10. CASPERS, H.

Zentralnervensystem
in: KEIDEL, W.-D., Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie
Georg Thieme, Stuttgart 1967, S.431-476

11. CHANOIT, P. u. A.VALLEE

The EEG in Psychiatry
EEG Clin. Neurophysiol. 16, 411 (1964)

12. ENDERLEIN, G.

Die Schätzung des Produktmoment-Korrelationsparameters
mittels Rangkorrelation
Biometrische Zeitschrift, 3, 199-212 (1961)

13. FAHREBERG, J.

Psychophysiologische Persönlichkeitsforschung
Hogrefe, Göttingen 1967

14. GUTTMANN, G.

Periodizitäten im Frequenzverlauf der hirnelektrischen
Ruheaktivität
Zschr.exp. u. angew. Psychologie, 3, 394-406 (1967)

15. HARDING, G., P.M.JEAVONS, F.A.JENNER and M.SHERIDAN
Analysis of the Variation of Alpha-Rhythm in a Case of
Periodic Psychosis
EEG Clin. Neurophysiol. 17, 603 (1964)
16. HARDING, G., P.M.JEAVONS, F.A.JENNER, P.DRUMMOND,
M. SHERIDAN and G.W.HOWELLS
The Electroencephalogram in Three Cases of Periodic Psychosis
EEG Clin. Neurophysiol. 21, 59-66 (1966)
17. HARMANN, H.H.
Modern Factor Analysis
University of Chicago Press, Chicago 1960
18. HOFSTÄTTER, P.R.
Gruppendynamik
Rowohlt (rde) 1957
19. JANKE, W.
Klassifikation in Handbuch der Psychologie, Band 6
Herausgeber: R.Heiss
Hogrefe, Göttingen 1964, S.901-929
20. LAWLEY, D.N. u. A.E.MAXWELL
Factor Analysis as a Statistical Method
London 1963
21. LIEBAU, A.
Die Automatische Klassifizierung
Diss., Kiel 1964

22. LIENERT, G.A.
Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik
Anton Hain, Meisenheim/Glan 1962
23. LIENERT, G.A.
Testaufbau und Testanalyse
Julius Beltz, Weinheim - Berlin 1967²
24. MATOUSEK, M.
Automatic Analysis in Clinical Electroencephalography
Prag 1967
25. MICHEL, L.
Allgemeine Grundlagen psychometrischer Tests
in: Handbuch der Psychologie Band 6:
Diagnostische Psychologie
Herausgeber: R.Heiss, Hogrefe, Göttingen 1964, S.19 f.
26. PAWLIK, K.
Dimensionen des Verhaltens
Huber, Bern 1968
27. RAO, C.R.
Advanced Statistical Methods in Biometric Research
John Wiley, New York 1962
28. RANNEBERG, K.M.
Veränderungen der Alpha-Aktivität unter dem Neuroleptikum
Butaperazin - Ergebnisse einer vergleichenden quantitativ-
elektroencephalographischen Studie bei einer amerikanischen
und deutschen Patientengruppe
Diss., Erlangen 1967

29. ROSENBLITH, W.A.

Processing Neuroleptic Data

M.I.T. Press 1962

30. SIEGEL, S.

Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences

McGraw Hill, New York 1956

31. WEBER, E. u. BROTT, C.

Ein Linearitätstest mit Hilfe elektronischer Daten-
verarbeitungsanlagen

Biometrische Zeitschrift, 5, 188-205 (1963)

Herrn Privat-Dozent Dr. med. D. Bente bin ich für die Überlassung des Themas, seine Unterstützung und seine Anregungen sehr zu Dank verpflichtet. Ebenfalls danken möchte ich den Herren Diplom-Mathematikern U. Ferner und K. Siegordner für ihre Hilfe bei der Verarbeitung des umfangreichen Datenmaterials.

L e b e n s l a u f

Am 24.1.42 wurde ich als zweiter Sohn des Lebensmittelhändlers Peter Hillemacher und seiner Ehefrau Maria, geb. Voßen, in Reydt geboren. Nach vier Jahren Volksschulbesuch und neun Jahren Gymnasium legte ich am 24.2.61 am Hugo-Junkers-Gymnasium in Reydt die Reifeprüfung ab.

Zunächst studierte ich zwei Semester Medizin in Köln, wo ich im April 1962 die Naturwissenschaftliche Vorprüfung bestand, danach an der Universität Erlangen-Nürnberg. Dort begann ich mit dem Zweitstudium der Psychologie. Im Oktober 1963 legte ich die Ärztliche Vorprüfung und im Februar 1965 die Vordiplomprüfung für Psychologen ab. Das Sommer-Semester 1965 verbrachte ich an der Universität Wien. Danach kehrte ich nach Erlangen zurück. Hier beendete ich am 22.8.1967 die Ärztliche Prüfung und am 28.10.1967 die Diplom-Hauptprüfung für Psychologen.

Seit dem 1.1.1968 bin ich als Medizinalassistent der Chirurgischen Abteilung am Kreiskrankenhaus in Aurich- Sandhorst (Ostfriesland) tätig.



**BUCH- UND FOTODRUCK
LUDWIG MÖLLER
ERLANGEN · FAHRSTR. 5**